



TUGAS AKHIR - RE 141581

PEROLEHAN KEMBALI ALUMINIUM DARI LUMPUR PDAM DENGAN ELEKTROLISIS MENGUNAKAN MEMBRAN PENUKAR ANION

*ALUMINIUM RECOVERY FROM SLUDGE OF WATER
TREATMENT PLANT USING ELECTROLYSIS WITH
ANION EXCHANGE MEMBRANE APPLICATION*

MUSTIKA RAHAYU LESTARI
03211440000103

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - RE 141581

**PEROLEHAN KEMBALI ALUMINIUM DARI
LUMPUR PDAM DENGAN ELEKTROLISIS
MENGUNAKAN MEMBRAN PENUKAR ANION**

MUSTIKA RAHAYU LESTARI
03211440000103

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - RE 141581

ALUMINIUM RECOVERY FROM SLUDGE OF WATER TREATMENT PLANT USING ELECTROLYSIS WITH ANION EXCHANGE MEMBRANE APPLICATION

MUSTIKA RAHAYU LESTARI
03211440000103

Supervisor
Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Environment, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN

PEROLEHAN KEMBALI ALUMINIUM DARI LUMPUR PDAM DENGAN ELEKTROLISIS MENGGUNAKAN MEMBRAN PENUKAR ANION

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUSTIKA RAHAYU LESTARI

NRP. 03211440000103

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc.

NIP. 19530706 198403 2 004

**SURABAYA
JULI, 2018**



PEROLEHAN KEMBALI ALUMINIUM DARI LUMPUR PDAM DENGAN ELEKTROLISIS MENGGUNAKAN MEMBRAN PENUKAR ANION

Nama Mahasiswa : Mustika Rahayu Lestari
NRP : 03211440000103
Departemen : Teknik Lingkungan, FTSLK – ITS
Dosen Pembimbing : Prof.Dr.Yulinah Trihadiningrum,M.App.Sc

ABSTRAK

Tingginya kadar aluminium pada lumpur alum PDAM (250 mg/L) memiliki potensi untuk *recovery* aluminium. Tujuan penelitian ini adalah menentukan karakteristik lumpur alum PDAM menentukan kuat arus listrik dan pH optimum dalam proses *recovery* aluminium dengan proses elektrolisis menggunakan membran penukar anion (AEM).

Sampling lumpur PDAM diambil dari unit *clearator* IPAM Karang Pilang II. Karakterisasi lumpur meliputi kadar air, alkalinitas, pH, COD, BOD, *Total Solids* (TS), *Total Volatile Solids* (TVS), *Total Suspended Solids* (TSS), *Total Dissolved Solids* (TDS), *Total Fixed Solids* (TFS), *Sludge Volume Index* (SVI), kadar logam berat. Sampel lumpur selanjutnya dikeringkan dan dilakukan proses asidifikasi. Asidifikasi dilakukan dengan asam sulfat pada variasi pH 2, 3 dan 4. Proses sentrifugasi selanjutnya dilakukan untuk perolehan supernatan lumpur alum. Hasil asidifikasi digunakan dalam proses elektrolisis dengan katoda perak dan anoda karbon. Uji polarisasi menghasilkan variasi nilai kuat arus yang dapat digunakan, yaitu sebesar 100, 200 dan 300 mA. Proses elektrolisis dilakukan dengan menggunakan reaktor *acrylic* berkapasitas 0,4 L yang dilengkapi dengan AEM. Sistem aliran reaktor ialah resirkulasi *batch*. Reaktor dengan 2 kompartemen yang masing-masing berkapasitas 1 L dilengkapi dengan dua buah *feed tank*. *Feed tank I* diisi dengan hasil asidifikasi dan diresirkulasikan dengan pompa peristaltik menuju kompartemen I dan berhubungan dengan katoda perak. *Feed tank II* berisi larutan buffer sesuai dengan pH hasil asidifikasi dan diresirkulasi menuju kompartemen II reaktor dengan menggunakan pompa peristaltik. Kompartemen II berhubungan dengan anoda karbon. Proses elektrolisis dilakukan selama 10 jam. Setiap jam dilakukan pengukuran pH, konduktivitas, TDS dan

tegangan listrik.

Hasil karakterisasi lumpur alum PDAM adalah: kadar air $99,08 \pm 0,69\%$; alkalinitas $45,83 \pm 7,22$ mg/L HCO_3^- ; pH $7,87 \pm 0,085$; BOD $1.082,47 \pm 130,00$ mg O_2 /L; COD $9.666,7 \pm 1.154,70$ mg O_2 /L; TVS $1.733 \pm 40,623$ mg/L; SVI $114,15 \pm 19,71$ mL/g; kadar Al 126.100 mg/kg; Fe 55.400 mg/kg; Cu 59 mg/kg; Cr 23 mg/kg.

Nilai persentase *recovery* aluminium untuk pH 2 kuat arus listrik 100; 200; 300 mA sebesar 52,04%; 60,15%; 63,97%. Nilai persentase *recovery* aluminium untuk pH 3 kuat arus listrik 100; 200; 300 mA masing-masing sebesar 51,20%; 61,78%; 74,70%. Nilai persentase *recovery* aluminium untuk pH 4 kuat arus listrik 100; 200; 300 mA sebesar 26,20%; 33,72%; 34,95%. Persentase *recovery* aluminium terbesar terdapat pada proses elektrolisis pH 3 kuat arus listrik 300 mA.

Kata kunci: AEM, asidifikasi, elektrolisis, *recovery* aluminium

ALUMINIUM RECOVERY FROM SLUDGE OF WATER TREATMENT PLANT USING ELECTROLYSIS WITH ANION EXCHANGE MEMBRANE APPLICATION

Student Name : Mustika Rahayu Lestari
ID Number : 03211440000103
Department : Environmental Engineering, FTSLK – ITS
Supervisor : Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc.

ABSTRACT

The high content of aluminium in alum sludge of Water Treatment Plant (PDAM) (250 mg/L) has high possibility for aluminium recovery. The objectives of this study are to determine alum sludge characteristics of PDAM, to determine rate of electric current and optimum pH in aluminium recovery process by electrolysis using anion exchange membrane (AEM).

Sampling of sludge from PDAM was taken from clearator unit. Sludge characterization included water content, alkalinity, pH, COD, BOD, Total Solids (TS), Total Volatile Solids (TVS), Total Suspended Solids (TSS), Total Dissolved Solids (TDS), Total Fixed Solids (TFS), Sludge Volume Index (SVI), and heavy metal content. The next sludge sample was dried and acidified. Acidification was done using strong sulfuric acid in pH variations of 2, 3, and 4. Then centrifugation process was done to obtain alum sludge supernatant. Acidification result was used in electrolysis process with silver catode and carbon anode. Polarization test result in various usable current rate, which were 100, 200, and 300 mA. Electrolysis process was done by using acrylic reactor with 0,4 L capacity equipped with AEM. The reactor flow system was batch recirculation. The reactor consisted of 2 compartments with 1 L capacity each, equipped with feed tank. Feed tank I was filled with acidification result and recirculated with peristaltic pump to compartment I connected with silver catode. Feed tank II was filled with buffer solution based on the pH of the acidification result and recirculated to reactor compartment II using peristaltic pump. Compartment II was connected with carbon anode. Electrolysis process was run for 10 hours. Measurements of pH, conductivity, TDS, and electric voltage were done every hour.

Characterization results for the alum sludge were as follow: water content $99,08 \pm 0,69\%$; alkalinity $45,83 \pm 7,22$ mg/L HCO_3^- ; pH $7,87 \pm 0,085$; BOD $1.082,47 \pm 130,00$ mg O_2 /L; COD $9.666,7 \pm 1.154,70$ mg O_2 /L; TVS $1.733 \pm 40,623$ mg/L, SVI $114,15 \pm 19,71$ mL/g; Al content 126.100 mg/kg; Fe content 55.400 mg/kg; Cu 59 mg/kg; Cr 23 mg/kg.

Aluminium *recovery* percentage at pH 2 and electric current 100; 200; 300 mA was 52,04%; 60,15%; 63,97%. Aluminium *recovery* percentage for pH 3 and electric currents 100; 200; 300 mA were respectively 51,20%; 61,78%; 74,70%. Aluminium *recovery* percentage for pH 4 and electric current 100; 200; 300 mA was 26,20%; 33,72%; 34,95%. The highest aluminium percentage was observed in electrolysis process at pH 3 and electric current of 300 mA.

Keywords: aluminium recovery, acidification, electrolysis, AEM

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan pada Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya saya dapat menyusun laporan tugas akhir dengan judul “Perolehan Kembali Aluminium dari Lumpur PDAM dengan Elektrolisis menggunakan Membran Penukar Anion”.

Atas bimbingan dan pengarahan yang telah diberikan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, saya menyampaikan terima kasih kepada,

1. Ibu Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M. App.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas bimbingan, kesabaran dan motivasi yang selalu diberikan.
2. Bapak Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., M.Phil, Ph.D., Ibu Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Welly Herumurti, ST., M.Sc. selaku dosen pengarah tugas akhir. Terima kasih atas saran dan bimbingannya.
3. Kementerian Riset, Teknologi, dan Perguruan Tinggi dan LPPM ITS atas bantuan dan Hibah Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi dalam penelitian ini.
4. Ibu Ir. Toeti Wahyoe Widiastuti, Bapak Adi, Bapak Agus dan staff PDAM yang telah membantu dalam pengambilan sampel.
5. Laboran Departemen Teknik Lingkungan, Teknik Sipil dan Kimia ITS yang senantiasa membantu dan memfasilitasi ketika di Laboratorium.
6. Keluarga dan teman – teman yang selalu memberikan dukungan dan doa.
7. Rizkiy Amaliyah Barakwan dan asisten Laboratorium Elektrokimia Departemen Teknik Kimia FTI ITS, terima kasih atas ilmu yang diberikan.

Saya menyadari terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, sehingga saran sangat dibutuhkan untuk laporan yang lebih baik. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Lumpur Alum	5
2.2 Karakteristik Logam Aluminium	7
2.3 <i>Inductively Coupled Plasma</i> (ICP)	8
2.4 Proses Asidifikasi	10
2.5 Proses Elektrolisis	11
2.6 Prinsip Dasar Elektrolisis	16
2.5.1 Hukum Faraday	16
2.5.2 Hukum Coloumb	17
2.5.3 Reaksi di Katoda	17
2.5.4 Reaksi di Anoda	17
2.7 <i>Anion Exchange Membrane</i>	18
2.8 Penelitian Terdahulu	20
BAB III METODE PENELITIAN	23

3.1 Umum	23
3.2 Kerangka Penelitian	23
3.2.1 Ide Penelitian	26
3.2.2 Studi Literatur	26
3.2.3 Sampling lumpur alum kering PDAM	26
3.2.4 Persiapan lumpur alum	27
3.2.5 Uji Pendahuluan	27
3.2.6 Penelitian Utama	30
3.2.7 Analisis Data dan Pembahasan	36
3.2.8 Kesimpulan dan Saran	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Karakterisasi Lumpur PDAM	39
4.2 Asidifikasi	43
4.3 Uji Polarisasi	44
4.4 Proses Elektrolisis	46
4.4.1 Perbandingan Nilai pH dan Tegangan Listrik pada Proses Elektrolisis	47
4.4.2 Perbandingan Nilai TDS pada Filtrat Hasil Asidifikasi pada Proses Elektrolisis	51
4.4.3 Perbandingan Berat Koloid Kering dan Berat Endapan pada Katoda Perak	54
4.5 Korelasi antar Parameter	55
4.6 Kesetimbangan Massa Aluminium	55
4.7 Penyisihan Logam <i>Impurities</i>	59
4.8 Konsumsi Energi Spesifik Proses	61
4.9 Proses Elektrolisis pH 3 Kuat Arus Listrik 300 mA	62
4.10 Aplikasi Elektrolisis dengan Membran AEM	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	67

5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN A PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM	77
LAMPIRAN B DATA HASIL ANALISIS.....	87
LAMPIRAN C DOKUMENTASI	155
BIODATA PENULIS	161

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Hubungan pH dan Kelarutan Aluminium	8
Gambar 2. 2 Efisiensi asidifikasi lumpur alum dengan berbagai jenis pH.....	11
Gambar 2. 3 Proses Elektrolisis	12
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian	26
Gambar 3. 2 Kurva Polarisasi.....	28
Gambar 3. 3 Skema Proses Asidifikasi	30
Gambar 3. 4 Reaktor Elektrolisis	34
Gambar 4. 1 Uji Polarisasi dengan Kuat arus listrik 0, 0 hingga 0, 5 A	45
Gambar 4. 2 Uji Polarisasi dengan Kuat arus listrik 0, 5 hingga 1,0 A	45
Gambar 4. 3 Perbandingan Kenaikan Nilai pH pada Kuat arus listrik 100 mA	48
Gambar 4. 4 Perbandingan Kenaikan Nilai pH pada Kuat arus listrik 200 mA	49
Gambar 4. 5 Perbandingan Kenaikan Nilai pH pada Kuat arus listrik 300 mA	50
Gambar 4. 6 Perbandingan Penyisihan TDS Filtrat Hasil Asidifikasi pH 2, 3 dan 4 pada Kuat arus listrik 100 mA	52
Gambar 4. 7 Perbandingan Penyisihan TDS Filtrat Hasil Asidifikasi pH 2, 3 dan 4 pada Kuat Arus Listrik 200 mA	52
Gambar 4. 8 Perbandingan Penyisihan TDS Filtrat Hasil Asidifikasi pH 2, 3 dan 4 pada Kuat arus listrik 300 mA	53
Gambar 4. 9 Keseimbangan Massa Aluminium Proses Elektrolisis a) pH 2 ; b) pH 3 ; c) pH 4	57
Gambar 4. 10 Proses Elektrodialisis	61
Gambar 4. 11 Pembentukan Endapan Aluminium pada Katoda Perak.....	63
Gambar 4. 12 Hubungan Nilai pH dan TDS pH 3 kuat arus listrik 300 mA.....	64
Gambar 4. 13 Nilai COD dan pH 3 kuat arus listrik 300 mA	65

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis Koagulan dalam Pengolahan Air	5
Tabel 2. 2 Karakteristik Lumpur Alum Kering	6
Tabel 2. 3 Karakteristik Lumpur Alum IPA Badak Singa PDAM Tirtawening	6
Tabel 2. 4 Potensial Standar Elektroda dalam Air Suhu 25°C....	13
Tabel 2. 5 Perbedaan Larutan Elektrolit Kuat, Lemah dan Non- Elektrolit	14
Tabel 2. 6 Spesifikasi AEM.....	19
Tabel 2. 7 Penelitian Terdahulu.....	20
Tabel 3. 1 Potensial Standar Elektroda dalam Air Suhu 25°C.	28
Tabel 3. 2 Parameter Penelitian	29
Tabel 3. 3 Alat dan Bahan	30
Tabel 3. 4 Pengukuran Data dalam Proses Elektrolisis	36
Tabel 4. 1 Hasil Karakterisasi Lumpur Alum PDAM Surabaya ...	39
Tabel 4. 2 Hasil Analisis ICP Supernatan Filtrat Hasil Asidifikasi	43
Tabel 4. 3 Nilai Potensial Standar unsur dalam uji polarisasi	44
Tabel 4. 4 Berat Endapan Logam pada Katoda Perak dan Berat Koloid pada Proses Elektrolisis	55
Tabel 4. 5 Persentase Recovery Logam Al dan Fe.....	60
Tabel 4. 6 Konsumsi Energi Spesifik dengan Parameter Recovery Aluminium.....	62

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyediaan air minum di Indonesia dilayani oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). Koagulan yang umumnya digunakan dalam pengolahan air ialah $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ (Alum), $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ dan FeCl_3 (Jiang dan Lloyd, 2002). Instalasi pengolahan air minum PDAM sebagian besar menggunakan koagulan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ dalam pengolahan air. Alum bereaksi dengan air membentuk sejumlah hidroksida aluminium yang tidak larut dalam air untuk menghilangkan kotoran yang tersuspensi dan koloid. Setiap hari, alum dibubuhkan di Instalasi Pengolahan Air dan menghasilkan lumpur alum sebagai air limbah yang tidak dapat dibuang ke air permukaan tanpa perawatan yang tepat (Joshi dan Shrivastava, 2011). Menurut Primadipta dan Titah (2017), lumpur alum yang dihasilkan oleh IPAM Ngagel II mengandung 250 mg/L aluminium. IPAM Karangpilang I membuang 626 m³ lumpur ke badan air. Alum merupakan koagulan yang umum digunakan. Instalasi pengolahan air minum diperkirakan menghasilkan lumpur alum sebesar 103.000 ton lumpur alum kering/tahun (Jimenez *et al.*, 2007). Aluminium dalam bentuk ionik sangat toksik bagi sebagian besar biota air seperti rumput laut, udang karang, dan ikan (Mazur *et al.*, 2001). Menurut Prayitno dan Sukosrono (2006), aluminium tergolong dalam unsur berdaya pencemar menengah.

Perbedaan limbah mengandung logam berat ialah pengaruh yang dihasilkan saat logam berat tersebut masuk dalam tubuh makhluk hidup (Prayitno dan Sukosrono, 2006). Menurut Guyton dan Hall (1996), aluminium dapat menyebabkan kerusakan jaringan detoksifikasi, serta ekskresi hati dan ginjal. Proses *recovery*, *recycling* dan *reuse* merupakan solusi yang optimal untuk lumpur unit pengolahan air (Ahmad *et al.*, 2016). Aluminium hidroksida dalam lumpur alum dapat larut dalam asam kuat maupun basa kuat. Oleh karena itu, metode perolehan kembali aluminium dengan asam dan basa masih terus dipakai (Boaventura *et al.*, 2000). Parsons dan Daniels (1999) menyatakan bahwa metode paling umum dan paling ekonomis yang digunakan dalam *recovery* koagulan adalah asidifikasi dengan asam sulfat. Asidifikasi dapat mengurangi volume lumpur karena sejumlah padatan suspensi terlarutkan dalam kondisi asam (Saunders dan

Roeder, 1991). Tujuan dari asidifikasi adalah untuk melarutkan kembali logam aluminium yang terkandung dalam lumpur dari instalasi pengolahan air (Cundari *et al.*, 2016). *Recovery* aluminium dengan asidifikasi dapat diperoleh pada pH 1,0 – 3,0 sebanyak 70-90% (Panswad dan Chamnan 1992). Salah satu pemanfaatan aluminium yang telah di *recovery* ialah penggunaan kembali sebagai koagulan cair (Moerdiyanti *et al.*, 2014).

Pemisahan logam aluminium dari bauksit melalui teknik pemisahan elektrolisis (Hendayana, 2006). Elektrolisis dipilih dikarenakan keunggulannya yaitu prosesnya cepat, sederhana, tidak memerlukan pemisahan terlebih dahulu, efisiensi yang tinggi (Prastika *et al.*, 2009). Prinsip dari elektrolisis menurut Sarto (1995) adalah pembentukan endapan logam pada katoda dengan bantuan energi listrik. Berdasarkan keunggulan dan prinsip tersebut, hasil dari penelitian ini berupa menempelnya logam aluminium di katoda. Proses elektrolisis yang dilakukan oleh Rahmawati (2013) dengan variasi kuat arus listrik 0,010; 0,015; 0,020; 0,025; 0,030 A. Secara umum, metode *recovery* koagulan dari lumpur alum terdiri atas asidifikasi, ekstraksi alkali, *ion exchange* dan pemisahan dengan membran. Kombinasi dari beberapa metode tersebut menghasilkan produk *recovery* yang lebih besar (Evuti dan Lawal, 2011). Koagulan dapat diperoleh kembali secara efisien dari lumpur alum sehingga dapat memecahkan masalah berupa pembuangan lumpur, pencemaran air dan penggunaan alum baru dengan dosis besar (Joshi dan Shrivastava, 2011). Dalam penelitian ini, *recovery* aluminium menggunakan asidifikasi dan elektrolisis dengan membran penukar ion.

Penelitian ini bertujuan untuk penentuan karakteristik kimiawi lumpur alum PDAM, penentuan kuat arus listrik dan pH optimum dalam *recovery* aluminium dengan asidifikasi dan elektrolisis.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik lumpur alum PDAM?
2. Berapa nilai pH optimum dalam elektrolisis untuk *recovery* aluminium dari lumpur PDAM?

3. Berapa nilai kuat arus listrik yang optimum dalam elektrolisis untuk *recovery* aluminium dari lumpur PDAM?

1.3 Tujuan

1. Menentukan karakteristik lumpur alum PDAM
2. Menentukan kuat arus listrik optimum dalam *recovery* aluminium dengan asidifikasi dan elektrolisis.
3. Menentukan pH optimum dalam *recovery* aluminium dengan asidifikasi dan elektrolisis.

1.4 Ruang Lingkup

1. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium Departemen Teknik Lingkungan, Departemen Teknik Sipil dan Departemen Kimia ITS
2. Sumber lumpur yang diteliti berasal dari IPAM Karang Pilang II pada bulan Januari 2018 dari unit *clearator*.
3. Reaktor yang digunakan dengan sistem aliran *batch* resirkulasi terdiri atas dua kompartemen.
4. Logam yang dianalisis adalah aluminium dan logam berat pengotor (Pb, Cr, Cu dan Fe).
5. Proses elektrolisis dilakukan selama 10 jam.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini:

1. Memberikan alternatif pengolahan untuk *recovery* aluminium dalam lumpur alum PDAM.
2. Memberikan informasi ilmiah mengenai metode asidifikasi dan kombinasi elektrolisis dengan *Anion Membrane Exchange* dalam penurunan konsentrasi aluminium

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lumpur Alum

2.2.1 Karakteristik Lumpur Alum

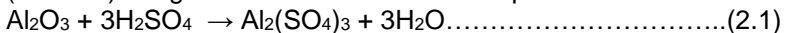
Air baku dari air permukaan mengandung bahan-bahan yang tersusun oleh partikel koloid yang tidak dapat mengendap secara alami. Proses pengendapan tidak dapat terjadi karena adanya stabilitas suspensi koloid. Stabilitas koloid diakibatkan oleh gaya Tarik van der Waals, gaya elektrostatis dan gerak brown. Kestabilan koloid dapat dikurangi dengan penambahan bahan kimia (koagulan) dengan muatan berlawanan. Koagulan yang banyak digunakan adalah aluminium sulfat atau garam-garam besi. Beberapa jenis koagulan yang umum digunakan dalam instalasi pengolahan air terdapat pada Tabel 2.1. Terjadinya muatan pada partikel menyebabkan antar partikel yang berlawanan cenderung bergabung membentuk inti flok. Proses koagulasi selalu diikuti oleh proses flokulasi, yaitu penggabungan inti flok menjadi flok berukuran besar (Masduki dan Assomadi, 2016). Flok yang telah terbentuk merupakan lumpur alum. Proses koagulasi-flokulasi terjadi pada unit cepat dan unit pengaduk lambat.

Tabel 2. 1 Jenis Koagulan dalam Pengolahan Air

Nama Kimia	Rumus Kimia
Aluminium sulfat	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$
	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 49,6\text{H}_2\text{O}$
Ferri klorida	FeCl_3
	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
	$\text{FeCl}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$
Ferri sulfat	$\text{Fe}(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
	$\text{Fe}(\text{SO}_4)_3 \cdot 36,9\text{H}_2\text{O}$
Ferro sulfat	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Sumber : Qasim *et al.* (2000)

Pembuatan alum di beberapa negara berasal dari alumina yang terdapat di bauksit kemudian langsung dimasukkan ke dalam asam sulfat (Nurcahyo, 2014). Persamaan antara bauksit (alumina) dengan H_2SO_4 tercantum dalam persamaan 2.1.



Menurut Shrivastava (2011), setiap hari alum dibubuhkan

di Instalasi Pengolahan Air (IPA) dan menghasilkan lumpur alum. Lumpur alum adalah produk sampingan dari instalasi pemurni air minum saat garam aluminium (Al) digunakan sebagai agen primer koagulasi flokulasi (Zhao *et al.*, 2011). SenGupta dan Prakash (2002) menyatakan bahwa aluminium hidroksida merupakan komponen terbesar sebanyak 25 hingga 60% dalam komposisi lumpur alum. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Joshi dan Shrivastava (2011) bahwasanya lumpur alum mengandung 40 – 50% alum yang tidak terpakai. Lumpur alum mengandung padatan tersuspensi non organik, organik, presipitasi logam dan logam berat dalam persentase yang kecil. Karakteristik lumpur alum setelah proses koagulasi dengan garam Al dan Fe adalah kandungan logam beracun seperti As, Ba, Cd, Cr, Ni, Pb dan Zn (Bartoszewski, 1996).

Karakteristik lumpur alum kering berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Abhilash dan Mansoor (2015) tercantum dalam Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Karakteristik Lumpur Alum Kering

Parameter	Nilai
pH	6,4
<i>Solid Content (%)</i>	5,4
VSS/SS	0,24
Al (mg/g)	112,47
Fe (mg/g)	48,33
Ca (mg/g)	20,51
Mg (mg/g)	10,89
Si (mg/g)	3,82

Sumber : Abhilash dan Mansoor (2015)

Karakteristik lumpur alum IPA Badak Singa PDAM Tirtawening Kota Bandung berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Az – Zahra *et al.* (2014) tercantum dalam Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Karakteristik Lumpur Alum IPA Badak Singa PDAM Tirtawening

Sampel	TS (%)	FS (%)	VS (%)	Aluminium (mg/L)
Lumpur accelator	2,5261	73,0323	27,831	4.794
Lumpur sedimentasi	6,9166	74,3336	29,582	8.300

Sampel	TS	FS	VS	Aluminium
	(%)	(%)	(%)	(mg/L)
Lumpur manhole	1,8104	72,0918	28,783	2.738

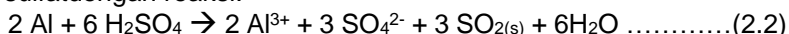
Sumber : Az – Zahra *et al.* (2014)

Kawamura (1991) menyatakan bahwa lumpur hasil pengolahan air minum mengandung banyak padatan terendapkan, material organik, anorganik, sisa bahan kimia yang tidak berfungsi dalam proses pengolahan air.

2.2 Karakteristik Logam Aluminium

Unsur kimia terdiri atas golongan logam non logam. Golongan logam mempunyai daya hantar panas dan listrik yang tinggi, sedangkan unsur-unsur nonlogam mempunyai daya hantar panas dan listrik rendah (Hutagalung, 1984).

Berdasarkan Vogel (1990), aluminium merupakan logam putih yang mudah ditempa, berwarna abu – abu dalam bentuk bubuk, titik lebur pada 659°C. Aluminium dapat larut dalam asam sulfat dengan reaksi:



Aluminium mudah teroksidasi membentuk lapisan tipis oksida (Al_2O_3) yang tahan terhadap korosi. Aluminium juga bersifat amfoter yang mampu bereaksi dengan larutan asam maupun basa (Hartono dan Kaneko, 1992). Aluminium dalam air secara alami berasal dari pertambangan dan berada dalam batuan tanah dan saluran drainase (Masduqi dan Assomadi, 2016).

Garam Al^{3+} umumnya digunakan sebagai bahan kimia koagulan dalam Instalasi Pengolahan Air. Koagulan Al (III) ditambahkan langsung ke air untuk diolah dalam bentuk cairan konsentrat, dan ion Al (III) terhidrolisis dengan cepat, menghasilkan berbagai ion Al (III) yang berperan penting dalam koagulasi (Gaoa *et al.*, 2002).

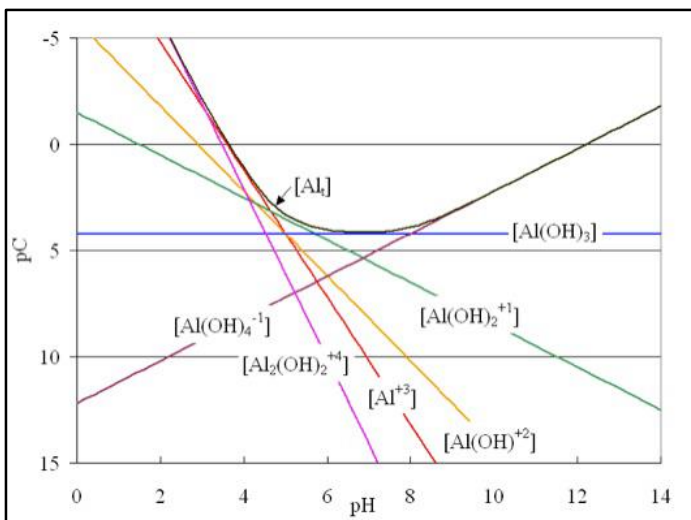
Tingkat bahaya unsur kimia menurut Prayitno dan Sukosrono (2006) terdiri atas:

- Unsur berdaya pencemar sangat tinggi (Ag, Cd, Hg, Sb, Cn, Fe, Ar, Zn)
- Unsur berdaya pencemar tinggi (Ba, Ca, Bi, Mn, P, Ti, U)
- Unsur berdaya pencemar menengah (Al, As, Cl, Co, F, B, Li, Na, N)

- Unsur berdaya pencemar rendah (Ga, La, I Si, Nd, Sr, Ta, Zr)

Aluminium memiliki polaritas tinggi dan lebih mudah larut dalam pelarut polar, seperti H_2O dan NaOH . Kation dan anion dalam larutan aluminium dapat membentuk garam yang tidak larut seperti $\text{Al}(\text{OH})_3$ (Lukasiewicz, 2016). Pengaruh pH terhadap kelarutan $\text{Al}(\text{OH})_3$ tercantum dalam Gambar 2.1.

Aluminium adalah logam yang dapat terhidrolisis dan relatif tidak larut dalam kisaran pH netral 6,0-8,0. Berdasarkan Gambar 2.1 menunjukkan bahwa jumlah semua jenis senyawa aluminium dalam larutan sama dengan presipitat dari $\text{Al}(\text{OH})_3$. Dalam pH yang rendah, aluminium yang terlarut hadir dalam bentuk larutan (Al^{3+}). Al^{3+} merupakan senyawa yang dominan dengan konsentrasi $1 \times 10^{-5} \text{ M}$ dalam pH 2. Proses hidrolisis terjadi saat pH meningkat dan menghasilkan hidroksida kompleks yang tidak mudah larut seperti $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$.



Gambar 2. 1 Hubungan pH dan Kelarutan Aluminium

Sumber: Lukasiewicz (2016)

2.3 Inductively Coupled Plasma (ICP)

Metode ini dapat digunakan dalam penentuan logam maupun

metalloid pada air (APHA, 1998). Metode ini dapat digunakan pada limbah, tanah, sedimentasi, lumpur, sampel biologis.

Prinsip dari instrumen ini adalah pendeteksian sampel dengan gas argon dengan plasma frekuensi radio bersuhu tinggi. Transfer energi dari plasma menuju sampel mengakibatkan desolvasi, atomisasi, ionisasi dari setiap unsur dalam sampel. Ion yang dihasilkan dari proses transfer energi merupakan hasil ekstraksi dari plasma melalui perbedaan ruang kosong dan dipisahkan dengan spektrofotometri massa. Ion yang melewati spektrofotometri massa terdeteksi dengan *electron multiplier detector*.

Rentang nilai batas deteksi instrumen untuk sebagian besar sampel sebesar 1 – 100 ng/L. Nilai batas deteksi instrumen tercantum pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Nilai Batas Deteksi Instrumen

Unsur	Batas Deteksi Instrumen ($\mu\text{g/L}$)
Be	0,025
Al	0,03
V	0,02
Cr	0,04
Cr	0,03
Mn	0,002
Co	0,002
Ni	0,004
Ni	0,025
Cu	0,003
Cu	0,004
Zn	0,017
Zn	0,020
As	0,025
Se	0,093
Se	0,064
Ag	0,003
Ag	0,002
Cd	0,006

Unsur	Batas Deteksi Instrumen ($\mu g/L$)
Cd	0,003
Sb	0,07
Sb	0,07
Tl	0,03
Tl	0,03
Pb	0,005
U	0,032
U	0,001
Mo	0,003
Ba	0,008
Sr	0,001

Sumber: APHA (1998)

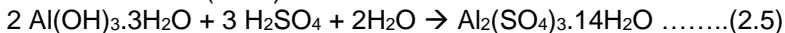
Hal pengganggu dalam analisis meliputi viskositas, tegangan permukaan, padatan terlarut diantara sampel dan standar kalibrasi. Padatan terlarut seharusnya tidak melebihi 0,5% untuk meminimalisasi gangguan tersebut.

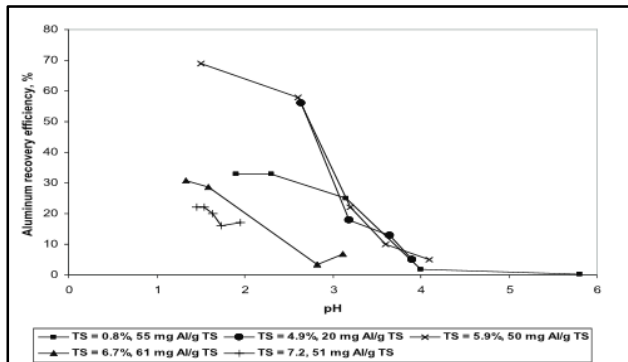
2.4 Proses Asidifikasi

Limbah padat lumpur PDAM dihasilkan dari pengolahan air dengan penambahan koagulan tawas ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) dan PAC (*Poly Aluminium Chloride*), sehingga dalam lumpurnya terdapat kandungan aluminium (Wicakso, 2011). Aluminium dapat diolah kembali melalui proses *recovery* limbah padat lumpur PDAM (Suherman dan Budiyo, 2003). Metode *recovery* senyawa aluminium yang memungkinkan ialah dengan penggunaan asam sulfat (Lukasiewicz, 2016). Asam sulfat merupakan asam kuat yang jika dilarutkan dalam air akan melepaskan lebih dari satu proton. Reaksi ionisasi asam sulfat terdapat dalam persamaan 2.3 dan 2.4.



Persamaan 2.5 menjelaskan reaksi asidifikasi lumpur alum hasil unit koagulasi dan flokulasi berdasarkan penelitian oleh Joshi dan Shrivastava (2011).





Gambar 2. 2 Efisiensi asidifikasi lumpur alum dengan berbagai jenis pH

Sumber: Jimenez *et al.* (2007)

Recovery aluminium dengan asidifikasi dapat diperoleh pada pH 1,0 – 3,0 sebanyak 70-90% (Panswad dan Chamnan, 1992). Recovery aluminium oleh Ewida *et al.* (2008) dengan asidifikasi dapat diperoleh pada pH 1,0 – 4,0 sebanyak 70-90%.

Berdasarkan penelitian oleh Jimenez *et al.* (2007), efisiensi asidifikasi lumpur alum dipengaruhi oleh pH asam kuat dan kandungan *total solids* dalam lumpur alum. Hasil efisiensi asidifikasi tertinggi terdapat dalam pH 1 hingga 2 dengan kandungan *total solid* sebanyak 5.9%.

2.5 Proses Elektrolisis

Elektrolisis merupakan proses penguraian larutan menjadi ion positif dan negatif bersamaan dengan arus listrik searah dialirkan kedalam larutan elektrolit melalui elektroda (Wulansari *et al.*, 2013). Faktor yang berpengaruh dalam proses elektrolisis terdiri atas waktu, suhu, tegangan, jenis elektroda, dan konsentrasi elektrolit (Sopiah, 2008).

▪ Waktu

Waktu merupakan faktor yang memengaruhi banyaknya logam yang mengendap di katoda (Marwati *et al.*, 2009).

▪ Suhu

Menurut Marwati *et al.* (2009) suhu berperan penting

dalam reaksi. Keseimbangan suhu ditentukan oleh beberapa faktor seperti jarak anoda dan katoda serta arus yang digunakan.

- Tegangan (voltage)

Hubungan antara voltase dalam elektrolit dalam proses elektrolisis dan kuat arus listrik yang mengalir menurut Topayung (2011) ialah:

$$I = \frac{V}{R} \dots\dots\dots(2.6)$$

I = kuat arus listrik (A)

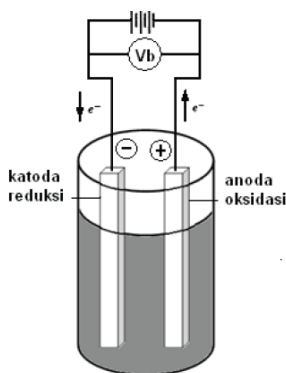
V = Voltase (Volt)

R = Hambatan listrik (Ohm)

- Jenis elektroda

Elektroda merupakan konduktor yang digunakan untuk mengalirkan arus listrik dalam sel elektrolisis. Elektroda terdiri atas dua jenis yaitu elektroda *inert* dan elektroda tidak *inert*. Elektroda *inert* merupakan elektroda yang tidak ikut bereaksi, baik sebagai anoda maupun katoda. Elektroda tidak *inert* (aktif) adalah elektroda yang ikut bereaksi. Jika digunakan sebagai katoda akan terjadi reduksi sedangkan katoda akan terjadi oksidasi. Susunan lengkap deret volta terdiri atas :

**Li – K – Ba – Ca – Na – Mg – Al – Mn – Zn – Cr – Fe –
Cd – Co – Ni – Sn – Pb – Cu – Hg – Ag – Pt – Au**



Gambar 2. 3 Proses Elektrolisis

Sumber : Riyanto (2012)

Potensial elektroda standar (E^0) adalah nilai potensial tiap elektroda pada keadaan standar yaitu pada suhu 25°C dan tekanan 1 atm.

Tabel 2. 5 Potensial Standar Elektroda dalam Air Suhu 25°C

Reaksi Setengah Sel	E^0 , Volt
$\text{Cl}_{2(\text{g})} + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{Cl}^-$	1,360
$\text{O}_{2(\text{g})} + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$	1,229
$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$	0,779
$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$	0,771
$\text{AgCrO}_4 + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{Ag} + \text{CrO}_4^{2-}$	0,446
$\text{O}_{2(\text{g})} + 4 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^- \rightarrow 4 \text{OH}^-$	0,400
$\text{Cu}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	0,337
$\text{AgCl}_{(\text{g})} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag} + \text{Cl}$	0,222
$\text{S} + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{S}$	0,141
$\text{C}_{(\text{s})} + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^- \rightarrow \text{CH}_{4(\text{g})}$	0,13
$2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_{2(\text{g})}$	0,00
$\text{Pb}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Pb}$	- 0,126
$\text{Sn}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Sn}$	- 0,136
$\text{Fe}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	- 0,441
$\text{S} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{S}^{2-}$	- 0,48
$\text{Zn}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$	- 0,763
$2 \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_{2(\text{g})} + 2 \text{OH}^-$	- 0,83
$\text{Zn}(\text{OH})_{2(\text{l})} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Zn} + 2 \text{OH}^-$	- 1,245
$\text{ZnS}_2 + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Zn} + \text{S}^{2-}$	- 1,44
$\text{Al}^{3+} + 3 \text{e}^- \rightarrow \text{Al}$	- 1,66
$\text{Mg}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Mg}$	- 2,37
$\text{Mg}(\text{OH})_2 + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Mg} + 2 \text{OH}^-$	- 2,69

Sumber : Sawyer *et al.* (1996)

Berdasarkan Tabel 2.1, dapat disimpulkan bahwa :

1. Terdapat logam memiliki nilai positif (di sebelah kiri unsur hidrogen dalam deret volta) dan logam memiliki nilai negatif (di sebelah kanan unsur hidrogen dalam deret volta logam H). Disimpulkan bahwa semakin bertambah besar beda potensialnya, semakin mudah menerima elektron (reduksi) dan sulit melepas elektron (oksidasi) dan sebaliknya.
2. Semakin ke atas, sifat reduktor semakin lemah sehingga unsur – unsur dalam deret volta hanya mampu mereduksi unsur – unsur dibawahnya.

3. Elektroda yang berfungsi dalam elektrolisis adalah anoda sebagai penghantar listrik sehingga terjadi pelarutan material anoda menghasilkan kation logam M^+ . Gas hidrogen dihasilkan dalam katoda dan gas oksigen dihasilkan dalam anoda (Purwanto dan Huda, 2005). Menurut Darmono (2001), urutan toksisitas untuk logam perak (Ag) ialah $Hg^{2+} > Cd^{2+} > Ag^+ > Ni^{2+} > Pb^{2+} > As^{3+} > Cr^{2+} > Sn^{2+} > Zn^{2+}$.

▪ Konsentrasi elektrolit

Menurut Day dan Underwood (1993), elektrolit adalah senyawa yang menghasilkan ion positif dan ion negatif dalam larutan. Larutan elektrolit dikelompokkan menjadi elektrolit kuat dan lemah (Johari, 2004). Perbedaan antara larutan elektrolit kuat, lemah, dan nonelektrolit terdapat dalam Tabel 2.4. Meningkatnya konsentrasi elektrolit berpengaruh terhadap perilaku sel elektrolisis. Semakin tinggi konsentrasi elektrolit, perubahan temperatur semakin besar dalam selang waktu tertentu, demikian juga pengaruhnya dengan pH. Konsentrasi elektrolit yang meningkat, harga pH di ruang katoda dan anoda semakin bervariasi (Louise, 2010)

Basuki *et al.* (2009) menambahkan bahwasanya keberhasilan proses elektrolisis dipengaruhi oleh keasaman larutan (pH), luas dan jarak elektroda, kerapatan arus listrik.

Tabel 2. 6 Perbedaan Larutan Elektrolit Kuat, Lemah dan Non-Elektrolit

Jenis Elektrolit	Jenis Zat Terlarut	Contoh Larutan
Elektrolit kuat	<ul style="list-style-type: none"> - Senyawa ion - Senyawa kovalen polar yang terhidrolisis sempurna 	NaCl, HNO ₃ , H ₂ SO ₄ , NaOH
Elektrolit lemah	<ul style="list-style-type: none"> - Senyawa kovalen polar yang 	CH ₃ COOH, NH ₃ , H ₂ CO ₃

Jenis Elektrolit	Jenis Zat Terlarut	Contoh Larutan
	terhidrolisis sebagian.	
Non elektrolit	- Senyawa kovalen polar yang tidak terhidrolisis.	$C_{12}H_{22}O_{11}$, C_2H_5OH , $CO(NH_2)_2$, $C_6H_{12}O_6$

Sumber: Johari (2004)

- Keasaman larutan (pH)

Menurut Louise (2010), hubungan antara pH dengan kuantitas material dalam elektrolisis berdasarkan persamaan Nerst.

$$E_{\text{sel}} = E^0_{\text{sel}} - \frac{RT}{nF} \ln Q \dots\dots\dots(2.7)$$

E_{sel} = potensial sel

E^0_{sel} = potensial sel standar

R = tetapan gas universal

T = temperatur (K)

n = jumlah elektron yang terlibat

F = bilangan Faraday

Q = perbandingan aktivitas teroksidasi terhadap tereduksi

- Luas dan jarak elektroda

Besarnya jarak antar elektroda mempengaruhi besarnya hambatan larutan elektrolit yang digunakan. Sehingga, semakin besar jarak antar elektroda maka semakin besar hambatannya.

- Kerapatan arus listrik

Kerapatan arus listrik merupakan kuat arus listrik yang mengalir di elektroda.

$$J = \frac{I}{A} \dots\dots\dots(2.8)$$

J = kerapatan arus listrik (A/m^2)

I = kuat arus listrik (A)

A = luas elektroda (m^2)

Keunggulan elektrolisis menurut Prastika *et al.* (2009) antara lain:

- Prosesnya cepat
 - Sederhana
 - Tidak memerlukan pemisahan terlebih dahulu
 - Serta efisiensi yang tinggi
- Keunggulan tersebut berpengaruh dalam perolehan logam dengan kuantitas maksimal dan tingkat kemurnian yang tinggi.

2.6 Prinsip Dasar Elektrolisis

Prinsip dari elektrolisis menurut Sarto (1995) adalah pembentukan endapan logam pada katoda dengan bantuan energi listrik.

2.5.1 Hukum Faraday

Berdasarkan Hukum Faraday, jumlah arus listrik yang mengalir dari muatan (+) ke muatan (-) berbanding lurus dengan massa yang terbentuk atau tereduksi (Basuki dan Sudibyo, 2009). Persamaan Hukum Faraday ialah:

$$M = \frac{e \times I \times t}{F} \dots\dots\dots(2.9)$$

M = massa yang terbentuk (g)
 e = berat ekuivalen zat
 I = kuat arus listrik (A)
 t = lama waktu elektrolisis (s)
 F = tetapan Faraday (96500 C)

Hubungan antara kelistrikan dan ilmu kimia pada semua reaksi elektrokimia terdapat dalam Hukum Faraday I dan II (Topayung, 2011).

Hukum Faraday I : Massa zat yang terjadi akibat reaksi kimia pada elektroda berbanding lurus dengan jumlah muatan listrik yang mengalir pada larutan elektrolit pada elektrolisis.

$$M = \frac{BA \times I \times t}{n \times F} \dots\dots\dots(2.9)$$

BA = berat molekul unsur (g)
 n = jumlah mol elektron yang terlibat dalam

	reaksi
I	= kuat arus listrik (A)
t	= lama waktu elektrolisis (s)
F	= tetapan Faraday (96500 C)

Hukum Faraday II : Massa berbagai zat yang terjadi selama elektrolisis, berbanding lurus dengan ekivalennya.

2.5.2 Hukum Coloumb

Menurut Topayung (2011), besarnya arus listrik yang mengalir dinyatakan dalam Coloumb dengan persamaan:

$$Q = I \cdot t \dots\dots\dots(2.10)$$

Q = muatan listrik (Coloumb)

I = kuat arus listrik (Ampere)

t = waktu (s)

2.5.3 Reaksi di Katoda

Reaksi yang terjadi di katoda apabila larutan garam mengalami proses elektrolisis menurut Lando dan Maron (1974) ialah :

- Pengendapan atau penempelan logam pada katoda
 - Timbulnya gas H₂
- Kedua proses tersebut dipengaruhi oleh besarnya potensial yang diperlukan untuk dekomposisi logam atau timbulnya gas H₂.
- a) Reaksi yang terjadi apabila pelarutnya air ialah :
- $$2 \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightarrow 2 \text{OH}^- + \text{H}_2 (\text{gas}) \dots\dots\dots(2.11)$$
- b) Larutan yang mengandung asam akan mereduksi ion H⁺ dari asam menjadi gas hidrogen
- $$2 \text{H}^+ + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2 \dots\dots\dots(2.12)$$
- c) Larutan yang mengandung ion logam selain ketentuan a) , maka yang mengalami reduksi adalah ion – ion logam tersebut dan diendapkan pada permukaan katoda
- $$\text{L}^{\text{x}+} + \text{Xe} \rightarrow \text{L} \text{ (menempel di katoda)}$$
- L adalah logam berat

2.5.4 Reaksi di Anoda

Reaksi yang terjadi di anoda menurut Lando dan Maron

(1974):

- Reaksi yang terjadi di anoda merupakan reaksi oksidasi.
- Jika anoda terbuat dari Pt, Au, dan C maka anoda tersebut tidak mengalami perubahan, tetapi ion negatif yang teroksidasi dengan ketentuan sebagai berikut
 - a. Larutan yang mengandung ion halida (F^- , Cl^- , Br^- , I^-) akan teroksidasi dalam bentuk gas
 - b. Larutan yang mengandung basa (OH^-), akan dioksidasi menjadi O_2
 - c. Larutan yang mengandung anion lainnya (SO_4^{2-} , NO_3^- , dll) tidak mengalami oksidasi, yang mengalami oksidasi adalah pelarutnya. Gas O_2 akan terbentuk apabila pelarutnya adalah air.
- Jika anoda bukan terbuat dari Pt, Au, C tetapi logam lain seperti Cu, Ni, Ag maka anoda akan bereaksi.

2.7 Anion Exchange Membrane

Membran diproduksi dalam bentuk yang tersusun dari partikel polimer halus dan dilapisi oleh matriks polimer. Membran diperkuat dengan serat sintesis sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik membran dan sifat *impermeable* terhadap air yang bertekanan (AWWA, 1995).

Terdapat dua buah jenis *membrane* menurut Valero *et al.* (2011), yaitu *Cation Exchange Membrane* dan *Anion Exchange Membrane*.

- *Cation exchange membrane* (CEM) atau membran penukar kation merupakan membran konduktif elektrik yang dapat hanya dapat dilewati oleh ion bermuatan positif (kation).
- *Anion exchange membrane* (AEM) atau membran penukar anion merupakan membran konduktif elektrik yang hanya dapat dilewati oleh ion bermuatan negatif. Umumnya AEM memiliki muatan positif dari golongan ammonium ($-NR_3 + OH^-$) sehingga menghalangi kation untuk melewati AEM.

Karakteristik yang dimiliki oleh kedua membran tersebut menurut Valero *et al.* (2011) ialah:

- Hambatan listrik yang rendah

- Tidak larut dalam larutan
- Tahan terhadap pH 1,0 hingga 10,0
- Dapat beroperasi dalam suhu diatas 46° C
- Tahan terhadap *osmotic swelling*
- *Lifetime* membran yang panjang
- Dapat dicuci dengan tangan

Jenis AEM yang umum digunakan adalah AMI-7001S, AMI-7001CR dan AMI 7001CRX. Spesifikasi AEM tercantum dalam Tabel 2.4.

Tabel 2. 7 Spesifikasi AEM

Spesifikasi Teknis	AMI-7001S	AMI-7001CR	AMI 7001CRX.
Fungsi	membran penukar anion basa kuat		
Struktur polimer	polystyrene dengan divinylbenzene		
Gugus fungsi	Ammonium		
Warna	Kuning terang		
Ukuran	1.22m x 3.05m	1.22m x 36.58m	1.22m x 36.58m
Tebal (mm)	0.45±0.025	0.50±0.025	0.60±0.025
Hambatan Listrik (Ohm.cm ²) 0.5 mol/L NaCl	<40		
Kerapatan arus listrik maksimum (Ampere/m ²)	<500		
Permselectivity (%) 0.1 mol KCl/kg / 0.5 mol KCl/kg	90		
<i>Total Exchange Capacity</i> (meq/g)	1.3±0.1		
Permeabilitas air (ml/hr/ft ²)	<3	<10	<25
pH	1 - 10		
<i>Preconditioning</i>	Perendaman membran dalam larutan NaCl 5% selama 12 jam.		
Penyimpanan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Disimpan dalam wadah kedap udara dengan suhu ruangan dan kelembapan rendah ▪ Waktu penyimpanan tidak melebihi satu tahun 		

Sumber: Membrane International Inc

2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai asidifikasi lumpur alum unit pengolahan air minum tercantum dalam Tabel 2.4. Asidifikasi menggunakan asam sulfat untuk ekstraksi aluminium yang terdapat dalam lumpur alum.

Tabel 2. 8 Penelitian Terdahulu

Penulis	Jenis Lumpur	Metode recovery	Hasil Penelitian
Irfan, 2007	Lumpur yang digunakan dalam penelitian berasal dari unit <i>accelerator</i> Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Gunung Panglun Padang.	Proses asidifikasi menggunakan asam sulfat	Berdasarkan proses asidifikasi diperoleh koagulan dengan efisiensi asidifikasi sebesar 50%
Joshi dan Shrivastava, 2011	Lumpur alum yang digunakan berasal dari berbagai instalasi pengolahan air minum.	Beberapa jenis lumpur dari berbagai jenis instalasi pengolahan air minum mengalami proses asidifikasi dengan asam sulfat dan ekstraksi alkali dengan NaOH.	Hasil yang diperoleh dari masing – masing metode asidifikasi dan ekstraksi alkali berupa koagulan cair.
Dassanayake <i>et al.</i> , 2015	Lumpur alum berasal dari beberapa instalasi pengolahan air minum kemudian dilakukan proses <i>dewatering</i> .	Lumpur alum mengalami proses asidifikasi menggunakan asam sulfat dan proses ekstraksi alkali dengan NaOH.	Lumpur alum yang telah mengalami proses <i>recovery</i> digunakan sebagai tanah dalam

Penulis	Jenis Lumpur	Metode <i>recovery</i>	Hasil Penelitian
			pertanian.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODE PENELITIAN

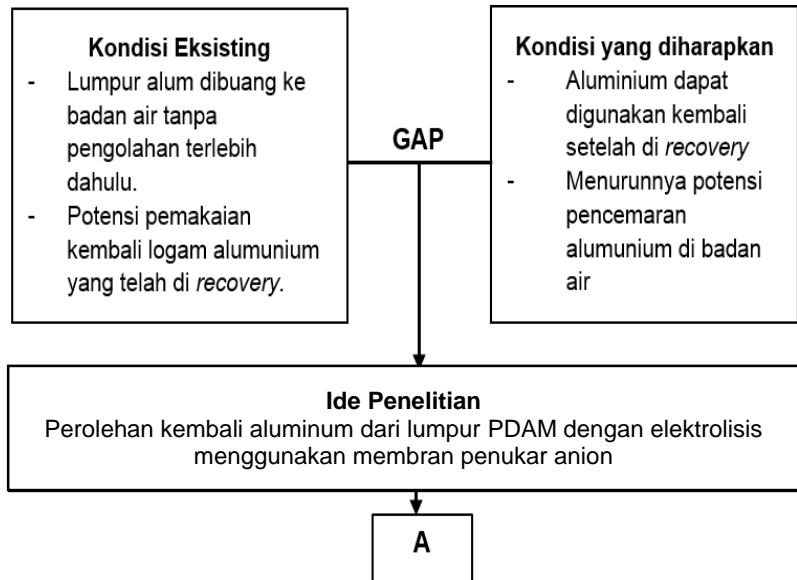
3.1 Umum

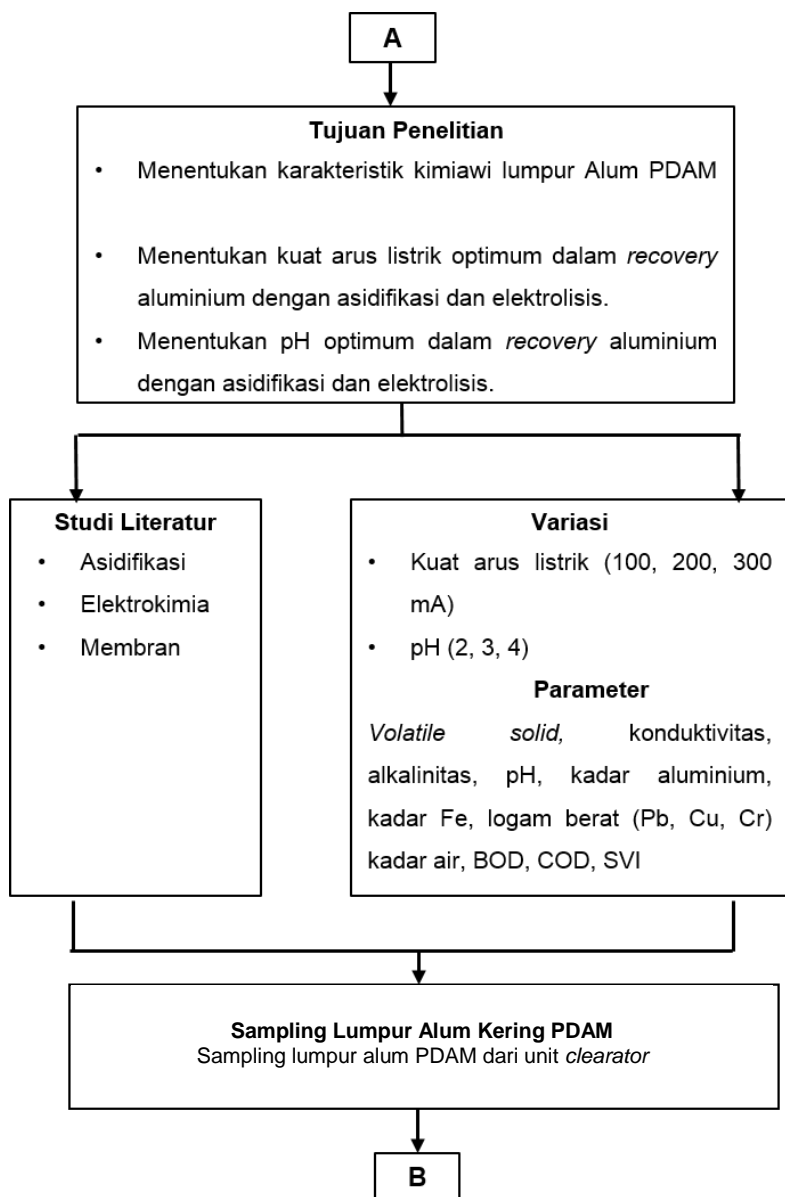
Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap, yaitu asidifikasi lumpur alum PDAM dan *recovery* logam aluminium dengan kombinasi proses elektrolisis dan *anion exchange membrane* (AEM). Elektroda yang digunakan anoda karbon (inert) dan katoda perak (Ag). Analisis yang dilakukan berdasarkan variasi :

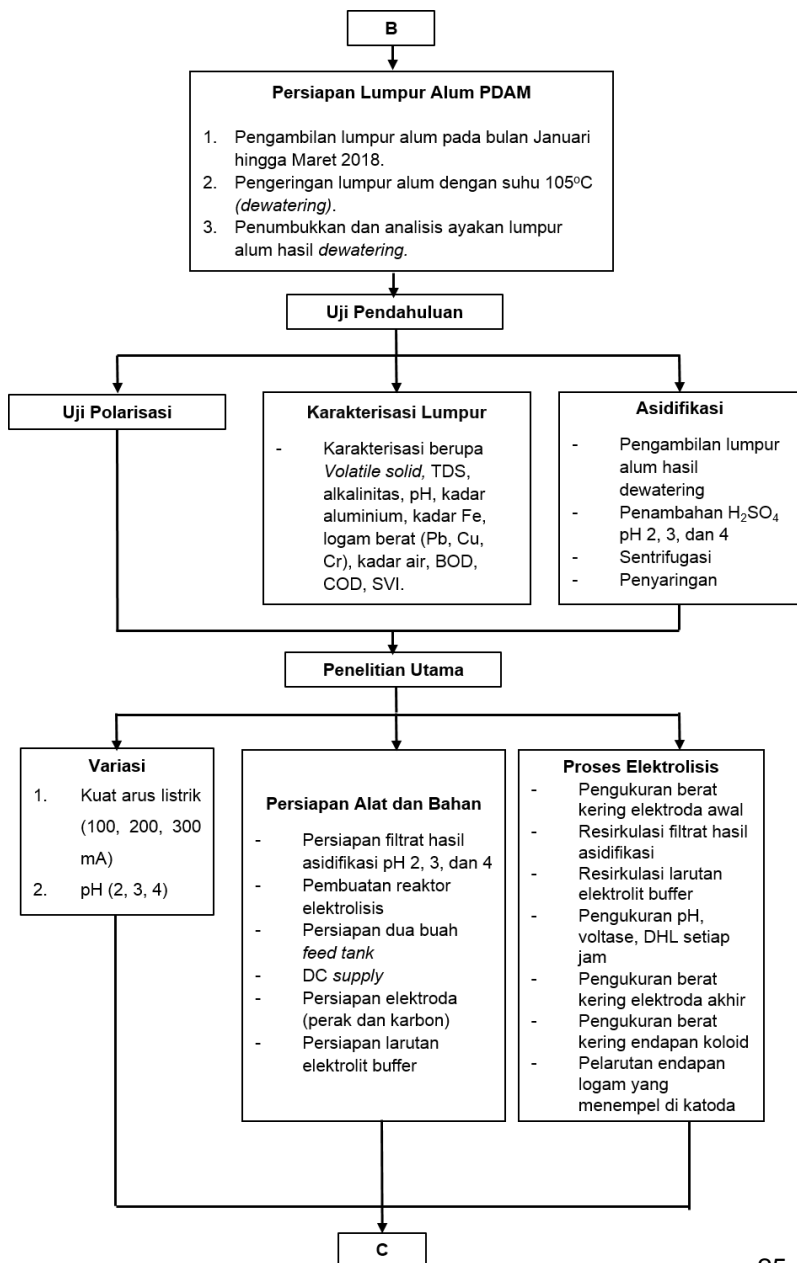
1. Kuat arus listrik 100, 200, 300 mA
2. pH 2, 3, 4

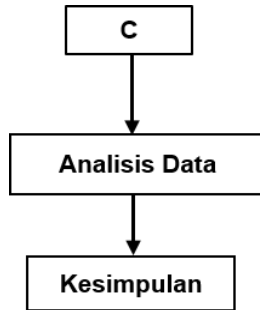
3.2 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian bertujuan dalam memberikan tahapan – tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian sehingga memudahkan penelitian dan penulisan laporan, memahami langkah penelitian. Kerangka penelitian dapat meminimalkan kesalahan dalam proses penelitian. Kerangka penelitian tercantum dalam Gambar 3.1.









Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

3.2.1 Ide Penelitian

Ide penelitian diperoleh dari perbandingan antara kondisi eksisting dengan kondisi yang diharapkan. Penelitian ini membahas mengenai metode *recovery* aluminium dengan menggunakan metode asidifikasi dan metode elektrolisis dilengkapi dengan membran AEM. Variasi yang ditambahkan berupa kuat arus listrik 100, 200, 300 mA dan pH 2, 3, 4. Parameter berupa VS, konduktivitas, pH, kadar Al, Fe, Pb, Cr, Cu, alkalinitas, uji kadar logam aluminium, kadar air.

3.2.2 Studi Literatur

Sumber literatur yang berasal dari *text book*, jurnal, prosiding, thesis, disertasi yang berkaitan dengan penelitian. Literatur yang dibutuhkan berkaitan dengan proses elektrokimia (elektrolisis), asidifikasi, penelitian terdahulu yang dapat dijadikan sebagai referensi.

3.2.3 Sampling lumpur alum kering PDAM

Sumber lumpur alum yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari unit *clearator* PDAM. Dosis pembubuhan tawas cair setiap unit *clearator* sebesar 441 m³/jam. Sampling dilakukan dengan metode *grab sampling* dan *composite sampling* dari pipa drainase *clearator*. Pengurasan lumpur secara otomatis selama 24 jam.

3.2.4 Persiapan lumpur alum

Lumpur alum kering yang telah diperoleh dihilangkan kadar airnya dengan menggunakan oven dengan suhu 105°C. Metode *dewatering* bertujuan untuk menghilangkan kadar air yang terdapat dalam lumpur alum. Berdasarkan Nair dan Ahammed (2014), lumpur alum kering dihaluskan dengan mortar dan dilakukan analisis ayakan hingga didapatkan ukuran lumpur alum ≤ 2 mm. Analisis ayakan 10 mesh dilakukan dalam Laboratorium Mekanika Tanah Departemen Teknik Sipil – FTSLK ITS. Analisis ayakan berpengaruh terhadap luas permukaan lumpur alum kering. Hal tersebut berkaitan dengan proses asidifikasi dalam ekstraksi aluminium.

Perhitungan kadar air lumpur alum :

$$\frac{A-B}{A} \times 100\% \dots \dots \dots (3.1)$$

A = berat wadah + lumpur alum awal (g)

B = berat wadah + lumpur alum akhir setelah dioven (g)

3.2.5 Uji Pendahuluan

▪ Uji Polarisasi

Uji polarisasi menggunakan filtrat hasil asidifikasi pH 2. Tujuan dari uji polarisasi adalah untuk menentukan kuat arus listrik yang digunakan dalam penelitian utama (elektrolisis dengan AEM). Filtrat hasil asidifikasi pH 2 dialirkan menuju reaktor tanpa membran dengan menggunakan pompa peristaltik tipe Palmer. Tegangan listrik dinaikkan sebesar 0.2 V setiap 3 menit dan diamati perubahan fisik di katoda perak maupun anoda karbon. Elektroda yang digunakan merupakan elektroda perak (katoda) dan karbon (anoda). Persiapan bahan diawali dengan uji polarisasi terhadap elektroda yang akan digunakan (Ag dan C). Uji polarisasi menurut Widayatno *et al.* (2016) dilakukan untuk mengetahui hubungan voltase dan densitas arus pada elektroda. Uji polarisasi diawali dengan penentuan E^0 dari setiap reaksi di katoda dan anoda meliputi reaksi pembentukan aluminium dan logam berat yang telah terdeteksi.

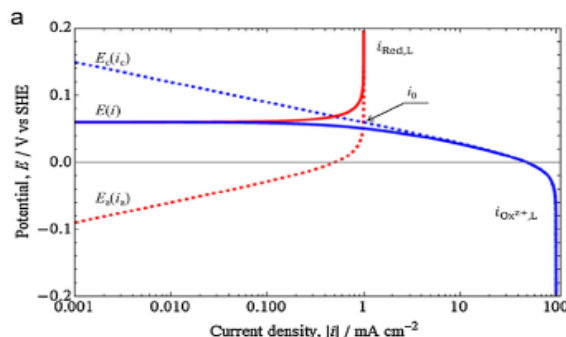
Tabel 3. 1 Potensial Standar Elektroda dalam Air Suhu 25°C

Reaksi Setengah Sel	E ⁰ , Volt
$\text{Ag} \rightarrow \text{Ag}^+ + \text{e}^-$	-0,779
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}$	- 0,126
$2 \text{H}_2\text{O}_{(l)} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_{2(g)} + 2\text{OH}^-$	- 0,83
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}$	- 1,66
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	0,337
$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}$	-0,74
$\text{Fe}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	-0.04
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	-0.44

Sumber : Sawyer *et al.* (1996)

Pengukuran nilai TDS dan pH dilakukan setiap kenaikan kuat arus maupun tegangan listrik. Data yang diperoleh kemudian diolah menjadi grafik dengan konsentrasi TDS (g/L), densitas arus (mA/cm²), tegangan listrik (V) dan pH. Penyisihan nilai TDS terbesar memengaruhi pemilihan kuat arus listrik dalam penelitian.

Contoh kurva polarisasi elektroda tercantum pada Gambar 3.2. Salah satu contoh uji polarisasi yang dilakukan oleh Seri dan Itoh (2016) dengan menggunakan elektroda platina dalam larutan asam. Densitas arus pada elektroda platina terdapat dalam kisaran 0.001 hingga 100 mA/cm².

**Gambar 3. 2 Kurva Polarisasi**

Sumber: Seri dan Itoh (2016)

▪ Karakterisasi Lumpur PDAM

Lumpur alum kering diambil dan dilarutkan dengan

aquadest. Proses pelarutan menggunakan *magnetic stirrer* selama 120 menit. Pengukuran kadar logam berat menggunakan instrument ICP-OES. Filtrat yang dibutuhkan sebanyak 1 L untuk setiap proses elektrolisis. Karakterisasi lumpur menggunakan metode triplo.

Parameter dalam karakterisasi lumpur PDAM terdapat dalam Tabel 3.3.

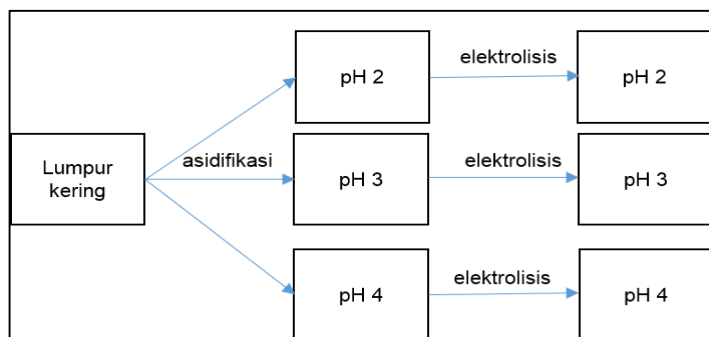
Tabel 3. 2 Parameter Penelitian

No	Parameter	Metode Pengujian	Sumber
1.	pH	Voltmetri	APHA (2012)
2.	Logam berat (Pb, Cr, Cu, Fe)	<i>Inductively Coupled Plasma Methods</i>	APHA (2012)
3.	Alkalinitas	Titrimetri	APHA (2012)
4.	Kadar air	Gravimetri	APHA (2012)
5.	Uji kadar Al	<i>Inductively Coupled Plasma Methods</i>	APHA (2012)
6.	<i>Volatile Solids</i>	Gravimetri	APHA (2012)
7.	Konduktivitas	<i>conductivity meter</i>	APHA (2012)

▪ **Metode Asidifikasi**

- Lumpur alum kering diambil sebesar 20% atau sebesar 200 g yang merupakan *total solid* dari lumpur alum.
- Proses asidifikasi membutuhkan 20% lumpur alum dalam satu kali proses (v/v). Pengenceran dengan *aquadest* hingga 1000 mL dan ditambahkan H₂SO₄ pekat hingga pH 2, 3 dan 4.
- Pengadukkan antara lumpur kering dengan asam sulfat dilakukan dengan *magnetic stirrer* kecepatan 300 rpm selama 2 jam.
- Sentrifugasi dilakukan untuk memisahkan antara natan dan supertanan dalam proses asidifikasi. Proses sentrifugasi dilakukan dalam Laboratorium Limbah Padat dan B3, Departemen Teknik Lingkungan ITS dan Laboratorium Kimia Mikroorganisme, Departemen Kimia ITS.
- Penyaringan supernatan dengan menggunakan corong kaca dan kertas saring ukuran 10 μm .

Skema asidifikasi untuk perolehan supernatan tercantum dalam Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Skema Proses Asidifikasi

3.2.6 Penelitian Utama

▪ Penentuan Variasi

Variasi dalam penelitian ini terdiri atas :

- Nilai pH larutan H_2SO_4 dalam proses asidifikasi sebesar 2, 3, 4.
- Nilai kuat arus listrik yang digunakan dalam proses elektrolisis yang diperoleh dari uji polarisasi elektroda karbon dan perak dengan filtrat hasil asidifikasi pH 2. Nilai kuat arus listrik yang digunakan sebesar 100, 200, 300 mA.

▪ Persiapan Alat dan Bahan

Berbagai alat yang diperlukan dalam penelitian ini adalah:

Tabel 3. 3 Alat dan Bahan

No	Alat dan Bahan	Kegunaan
1	Reaktor elektrolisis	Reaktor terbuat dari <i>acrylic</i> dengan dimensi 20 cm x 5 cm x 2 cm. Terdapat dua buah kompartemen dalam reaktor yang dipisah dengan membran AEM. Sistem aliran di masing masing kompartemen dengan menggunakan resirkulasi

No	Alat dan Bahan	Kegunaan
		<i>batch.</i>
2	Membran	Membran yang digunakan merupakan <i>anion exchange membrane</i> tipe AMI-7001S. Penggunaan <i>membrane</i> AEM untuk melewati anion yang terkandung dalam supernatan lumpur alum.
3	Adaptor sumber arus DC	Sumber listrik dalam proses elektrolisis.
4	Kabel penghantar listrik	Penghantar arus listrik dari adaptor DC
5	Elektroda	Elektroda yang digunakan merupakan elektroda perak (katoda) ukuran 2 x 0,1 x 5 cm dan karbon (anoda) ukuran 2 x 0,5 x 5 cm. Elektroda perak digunakan berdasarkan sifat kereaktifannya di dalam deret volta. Elektroda karbon digunakan sebagai elektroda inert. Persiapan bahan diawali dengan uji polarisasi terhadap elektroda yang akan digunakan (Ag dan C). Uji polarisasi menurut Widayatno <i>et al.</i> (2016) dilakukan untuk mengetahui hubungan voltase dan densitas arus pada elektroda. Jarak antar elektroda dalam proses elektrolisis sebesar 1 cm.
6	Pipa volumetrik dan propipet	Mengambil volume larutan dengan volume tertentu
7	Pipet tetes	Mengambil volume larutan dengan volume yang sedikit
8	pH meter	Mengukur pH larutan
9	<i>Inductive Coupled Plasma</i> (ICP)	Pengukuran kadar logam Al, Fe dan logam berat lainnya (Pb, Cr, Cu).
10	Labu ukur	Wadah dalam pengenceran larutan
11	Jerigen plastik 10 L	Wadah lumpur alum PDAM
12	Gelas ukur	Pengukuran volume larutan
13	Neraca analitis	Penimbangan lumpur alum dan zat padat lainnya
14	Cawan porselen	Wadah zat padat, dapat digunakan dalam oven maupun <i>furnace</i> dalam

No	Alat dan Bahan	Kegunaan
		metode gravimetri
16	<i>Centrifuge</i>	Untuk pemisahan larutan dan endapan
17	<i>Tube centrifuge</i>	Wadah larutan dalam alat <i>centrifuge</i>
18	Pompa peristaltik	Untuk resirkulasi <i>supernatant</i> lumpur alum menuju <i>feed tank</i>
19	Selang plastik	Untuk pengaliran resirkulasi <i>supernatant</i> lumpur alum menuju <i>feed tank</i>
20	Wadah plastik	Wadah lumpur alum kering
21	<i>Feed Tank</i>	Wadah <i>supernatant</i> lumpur alum dan larutan elektrolit buffer
22	Lumpur alum kering PDAM	Limbah yang akan mengalami proses <i>recovery</i> aluminium
23	Larutan H_2SO_4	Ekstraksi aluminium dalam proses asidifikasi.
24	Larutan elektrolit buffer	Untuk menyangga pH <i>supernatant</i> yang telah melewati membran AEM. Larutan elektrolit buffer pH terbuat dari Kalium natrium tartrat.
25	Aquades	Untuk pengenceran larutan dan pembersihan elektroda
26	Kertas Saring 10 μm	Untuk penyaringan filtrat hasil asidifikasi
27	Corong kaca	Pemindahan <i>supernatant</i>

▪ Proses Elektrolisis

Proses elektrolisis dengan AEM terdiri atas 3 variasi kuat arus (100, 200, 300 mA) dan 3 variasi pH (2, 3, 4). Asidifikasi filtrat pH 2 dengan proses elektrolisis pH 2 dan hal yang sama untuk pH 3 dan 4. Waktu operasi dari proses elektrolisis sebesar 10 jam. Volume filtrat hasil asidifikasi dan larutan buffer Kalium natrium tartrat sebesar 1 L. Jenis membran yang digunakan ialah *anion exchange membrane* (AEM). Persiapan *pre-conditioning* membran direndam dengan larutan NaCl 5% selama 12 jam. Perlakuan sebelum dan setelah proses elektrolisis berupa perhitungan katoda perak dan anoda karbon yang telah dihilangkan kadar airnya. Proses elektrolisis menggunakan katoda perak (Ag) dan anoda karbon (C). Reaktor terbuat dari *acrylic* tahan asam dilengkapi dengan

AEM. Proses elektrolisis diawali dengan pembersihan elektroda dengan *aquadest* murni. Elektroda yang telah dibersihkan kemudian dikeringkan dengan kertas *tissue*. Elektroda dikeringkan dengan suhu 105°C dan didesikator untuk menghilangkan kadar air.

Elektroda perak dan karbon yang sudah kering kemudian ditimbang berat awalnya dengan neraca analitis dan dicatat. Reaktor terdiri atas dua kompartemen, membran AEM, dua buah *feed tank*, selang 5 mm, kabel penghantar listrik, pompa peristaltik.

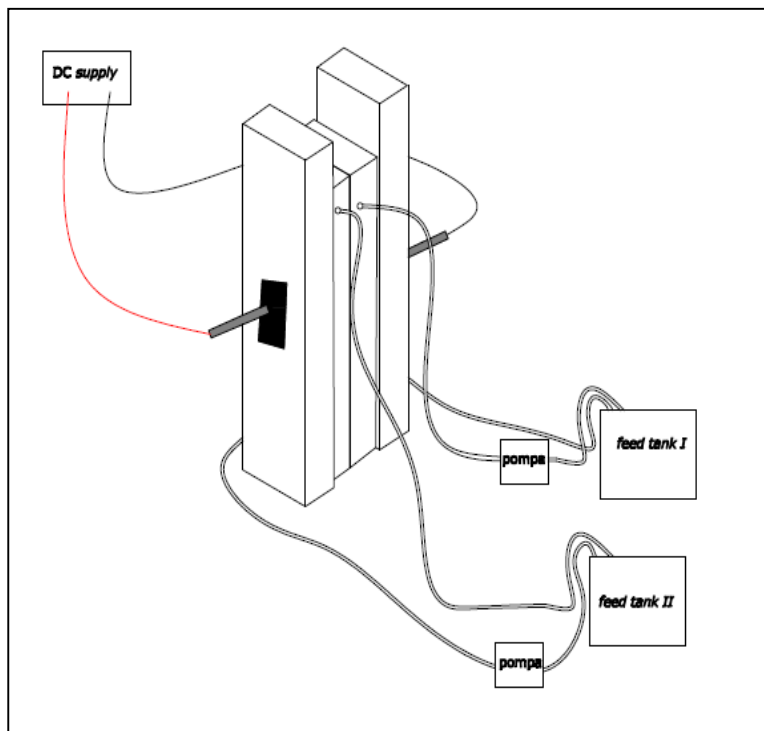
Feed tank I diisi dengan supernatan lumpur PDAM hasil asidifikasi pH 2 dan dipompa dengan pompa peristaltik menuju kompartemen I reaktor. Proses elektrolisis yang terjadi berupa reaksi di katoda perak dan anion yang melewati membran AEM. Fungsi membran AEM sebagai media anion untuk berpindah. Proses resirkulasi berlangsung dari kompartemen I menuju *feed tank* I.

Feed tank II diisi dengan campuran larutan elektrolit buffer Kalium natrium tartrat sebanyak 1 L dan dipompa dengan pompa peristaltik menuju kompartemen II reaktor. Proses pengisian secara *upflow* terjadi di kompartemen I dan II. Proses elektrolisis yang terjadi berupa reaksi di anoda karbon dan terjaganya pH oleh larutan elektrolit buffer. Proses resirkulasi berlangsung dari kompartemen II menuju *feed tank* II. Proses resirkulasi di kompartemen I dan II bertujuan untuk menambah waktu kontak antara ion aluminium dengan elektroda.

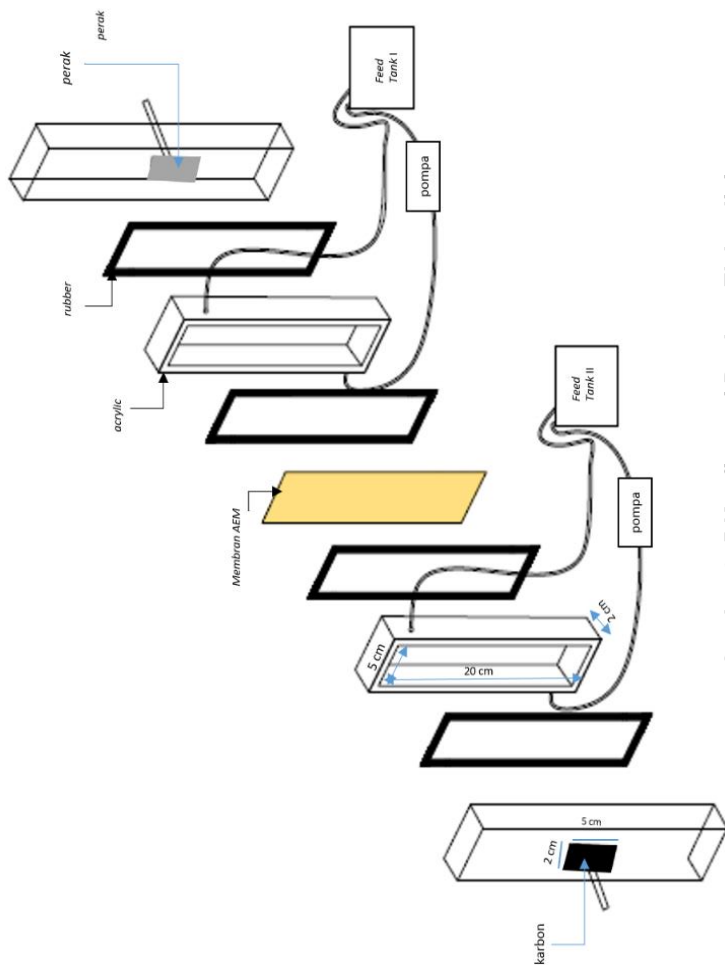
Data yang diperoleh selama proses elektrolisis berupa pengukuran pH, tegangan listrik, DHL setiap jam. Proses elektrolisis dihentikan setelah 10 jam. Pengukuran berat kering akhir elektroda karbon dan perak dilakukan setelah proses elektrolisis berhenti. Logam yang menempel pada katoda dilarutkan dengan HNO₃ pH 2 (APHA, 2012). Analisis komposisi logam yang terendapkan pada katoda menggunakan instrumen *Inductively Coupled Plasma* (ICP) tipe *Agilent Technologies series 700 ICP - OES*. Endapan koloid yang terdapat di dasar reaktor disentrifugasi.

Reaktor elektrolisis yang telah selesai dipakai kemudian dibersihkan dan digunakan kembali dengan supernatan hasil asidifikasi pH 3 dan 4.

Konfigurasi reaktor tercantum dalam Gambar 3.3 dan reaktor elektrolisis tercantum dalam Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Reaktor Elektrolisis



Gambar 3. 5 Konfigurasi Reaktor Elektrolisis

Tabel 3. 4 Pengukuran Data dalam Proses Elektrolisis

Parameter	Jenis Larutan	Volume (mL)	Waktu Sampling
pH	filtrat hasil asidifikasi dan larutan buffer	15 mL	setiap jam
TDS	filtrat hasil asidifikasi dan larutan buffer	15 mL	setiap jam
DHL	filtrat hasil asidifikasi dan larutan buffer	15 mL	setiap jam
Tegangan listrik (V)	-	-	setiap jam
kadar Al	filtrat hasil asidifikasi	50 mL	awal dan akhir proses elektrolisis
kadar Fe	filtrat hasil asidifikasi	50 mL	awal dan akhir proses elektrolisis
kadar Pb	filtrat hasil asidifikasi	50 mL	awal dan akhir proses elektrolisis
kadar Cu	filtrat hasil asidifikasi	50 mL	awal dan akhir proses elektrolisis
kadar Cr	filtrat hasil asidifikasi	50 mL	awal dan akhir proses elektrolisis

3.2.7 Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data dan pembahasan diperoleh dengan membandingkan hasil penelitian dengan studi literatur. Data yang diperoleh terdiri atas:

- Analisis logam dengan metode ICP untuk filtrat hasil asidifikasi awal, akhir, endapan logam pada katoda perak.
- Hasil karakterisasi lumpur alum berupa pH, kandungan logam berat (Pb, Cr, Cu, Fe), kandungan Al, alkalinitas, kadar air, *volatile solid*, konduktivitas dibandingkan dengan baku mutu

- Pengaruh pH dan kuat arus terhadap nilai voltase dan efisiensi *recovery* aluminium dengan tabulasi data pembuatan kurva dengan Microsoft word, excel dan software Sigmaplot.
- *Mass Balance*
Keseimbangan massa atau *mass balance* dibutuhkan dalam analisis data *recovery* aluminium. Supernatan lumpur alum PDAM yang telah terasidifikasi mengalami proses elektrolisis untuk *recovery* aluminium. Hasil yang dapat diperoleh dari proses elektrolisis adalah:

$$Al_0 = Al_{10} + Al_p + \text{endapan koloid} \dots \dots \dots (3.2)$$

Al_0 = konsentrasi Al awal (mg/L) x volume elektrolit (L)

Al_{10} = konsentrasi Al akhir (mg/L) x volume elektrolit (L)

Al_p = %Al x Δ berat kering katoda perak

endapan koloid = $\frac{BM \text{ Al}}{BM \text{ Al(OH)}_3} \times \Delta \text{ berat kering koloid}$

Keterangan:

Al_0 = massa Al pada awal proses elektrolisis (g)

Al_{10} = massa Al pada akhir proses elektrolisis (g)

Al_p = massa Al pada katoda perak (g)

endapan koloid = berat kering endapan koloid (g)

3.2.8 Kesimpulan dan Saran

Hasil pembahasan yang telah didapat disimpulkan menjadi ringkasan penelitian yang menjawab tujuan penelitian. Saran diberikan untuk perbaikan pelaksanaan penelitian selanjutnya agar mendapatkan nilai efisiensi *recovery* aluminium secara maksimal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium Departemen Teknik Lingkungan, Teknik Sipil dan Kimia ITS. Penelitian diawali dengan sampling lumpur alum, karakterisasi lumpur alum, asidifikasi lumpur alum, uji polarisasi, elektrolisis dengan AEM.

4.1 Karakterisasi Lumpur PDAM

Sumber lumpur alum yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari unit *clearator*. Karakterisasi lumpur alum bertujuan untuk mengetahui komposisi awal lumpur dan potensi *recovery* aluminium yang terkandung dalam lumpur. Hasil karakterisasi lumpur alum tercantum pada Tabel 4.1 dan Lampiran B – Tabel B.1.

Tabel 4. 1 Hasil Karakterisasi Lumpur Alum PDAM Surabaya

No	Parameter	Konsentrasi	Satuan	Metode Pengujian
1	Kadar air	$99,08 \pm 0,69$	%	Gravimetri
2	Alkalinitas	$70,83 \pm 7,22$	mg/L HCO_3	Titrimetri
3	pH	$7,47 \pm 0,0057$	-	Voltmetri
4	<i>Biological Oxygen Demand (BOD)</i>	$1.082,47 \pm 130,00$	mg O_2 /L	5 days BOD test
5	<i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i>	$9.666,7 \pm 1154,70$	mg O_2 /L	Close Reflux - Titrimetry
6	Total Solids (TS)	$12.511,00 \pm 288.691$	mg/L	Gravimetri
7	Total Volatile Solids (TVS)	$1.733 \pm 40,623$	mg/L	Gravimetri
8	Total Suspended Solids (TSS)	$12.511 \pm 288,691$	mg/L	Gravimetri
9	Total Dissolved Solids (TDS)	$340 \pm 6,529$	mg/L	Gravimetri
10	Total Fixed Solids (TFS)	$10.962 \pm 308,1943$	mg/L	Gravimetri

No	Parameter	Konsentrasi	Satuan	Metode Pengujian
11	<i>Sludge Volume Index (SVI)</i>	114,15 ± 19,71	mL/g	<i>settling test</i>
12	Al	126.100	mg/kg	X-Ray Fluorescence (XRF)
13	Fe	55.400	mg/kg	X-Ray Fluorescence (XRF)
14	Cu	59	mg/kg	X-Ray Fluorescence (XRF)
15	Cr	23	mg/kg	X-Ray Fluorescence (XRF)
16	Si	205.600	mg/kg	X-Ray Fluorescence (XRF)

a. Kadar Air

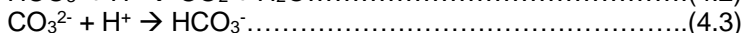
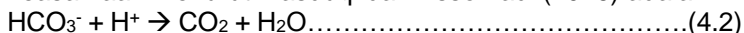
Nilai kadar air lumpur alum hasil sampling sebesar 99,08%± 0,6907. Nilai kadar air tersebut menunjukkan bahwasanya kadar solid yang terkandung dalam lumpur alum hasil sampling sangat sedikit (± 0,92%). Nilai kadar air berpengaruh terhadap proses pengeringan lumpur alum. Penelitian yang sama dilakukan oleh Xu *et al.* (2017) menunjukkan kadar air lumpur alum sebesar 96,70%.

b. Alkalinitas

Nilai alkalinitas lumpur alum segar sebesar 70,83 ± 7,22 dan lumpur hasil *dewatering* sebesar 45,83 ± 7,22. Reaksi lumpur alum yang terdapat di unit pengolahan air adalah $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O} + 6 \text{HCO}_3^- \rightarrow 2 \text{Al}(\text{OH})_3 + 6 \text{CO}_2 + 14 \text{H}_2\text{O} + 3 \text{SO}_4^{2-}$(4.1)

Alkalinitas adalah kapasitas menetralkan asam di dalam konsentrasi karbonat (Brezonik dan Arnold, 2011). Nilai alkalinitas disebabkan adanya ion karbonat, bikarbonat dan hidroksida (Sawyer *et al.*, 2003). Beberapa reaksi yang diestimasikan dalam aksi alkalinitas dalam menahan

keasamaan menurut Masduqi dan Assomadi (2016) adalah:



Alkalinitas berpengaruh dalam proses asidifikasi terutama dalam penambahan H_2SO_4 untuk mengekstrak aluminium. Konsentrasi bikarbonat yang terdapat pada persamaan 4.1 dapat menyebabkan potensi *scaling* pada membran dalam proses elektrolisis. Keberadaan gas CO_2 terlarut dalam persamaan 4.1, menyebabkan asiditas atau alkalinitas. Hal tersebut tergantung pada konsentrasi dan bentuk keberadaan gas CO_2 tersebut setelah terhidrolisis dalam air.

c. pH

Nilai pH lumpur alum hasil *dewatering* sebesar $7,87 \pm 0,085$ dan lumpur segar sebesar $7,47 \pm 0,0057$. Pengukuran pH lumpur unit pengolahan air minum dijadikan sebagai indikasi adanya ion H_3O^+ (Dahhou *et al.*, 2017).

d. *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)

Nilai COD lumpur alum hasil sampling sebesar $9.666,7 \pm 1.154,70$ mg/L. Nilai BOD lumpur alum hasil sampling sebesar $1.082,47 \pm 130,00$ mg/L. Rasio BOD:COD lumpur alum hasil sampling sebesar 0,14.

Penentuan kadar organik dalam dilakukan dengan metode COD, BOD, *Total Volatile Solids* (TVS), TOC. BOD dan COD menyatakan banyaknya oksidator yang diperlukan dalam menguraikan bahan organik. Oksidator dalam BOD merupakan oksigen yang digunakan mikroba untuk penguraian bahan organik yang *biodegradable*. Oksidator dalam analisis COD dikromat.

e. Total Padatan

Nilai TS lumpur alum sebesar $12.511,00 \pm 288.691$ mg/L. TS merupakan material atau residu yang tersisa setelah proses penguapan dengan suhu yang ditentukan (APHA, 2012).Nilai

tersebut berhubungan dengan total padatan yang terkandung dalam lumpur alum dan waktu pengeringan lumpur alum.

Nilai TVS sebesar $1.733 \pm 40,623$ mg/L. Nilai TVS dapat digunakan sebagai pengukuran kandungan organik. Pengukuran kadar organik dengan TOC, COD, dan BOD lebih akurat dibandingkan dengan TVS (APHA, 2012).

Nilai TFS lumpur alum sebesar $10.962 \pm 308,194$. Nilai TFS merupakan indikasi adanya bahan organik dalam lumpur alum. Nilai TFS yang lebih tinggi dari TVS menandakan kandungan anorganik lebih tinggi dari kandungan organik dalam lumpur alum.

Nilai TSS dalam lumpur alum sebesar $12.511 \pm 288,691$ mg/L. Nilai TDS sebesar $340 \pm 6,529$ mg/L. TDS merupakan padatan terlarut setelah proses penyaringan dengan kertas saring $2.0 \mu\text{m}$ sementara padatan yang tertahan merupakan TSS (APHA, 2012). Nilai TDS berhubungan dengan nilai konduktivitas larutan. Nilai TDS dapat diestimasi dengan mengalikan nilai konduktivitas dengan faktor sebesar $0,55 - 0,9$ (APHA, 2012). Faktor tersebut dipengaruhi oleh suhu dan komponen *soluble*.

f. *Sludge Volume Index* (SVI)

Nilai SVI lumpur alum hasil sampling sebesar $114,15 \pm 19,71$ mL/g. Kemampuan lumpur mudah atau tidaknya mengendap dapat diketahui dengan pengukuran nilai SVI. Nilai SVI lumpur hasil sampling terdapat dalam rentang nilai 100 hingga 200 mL/g sehingga dapat disimpulkan bahwa lumpur sulit mengendap.

g. Kadar unsur

Kadar logam dalam sampel lumpur alum diuji dengan instrumen *X-Ray Fluorescence* (XRF) Thermo Scientific Tipe 9900 Series. XRF digunakan untuk menentukan konsentrasi aluminium mayor maupun minor dalam batuan atau material lainnya. Pengukuran logam dengan XRF menggunakan sampel *solid* (Downs *et al.*, 1993).

Kandungan logam berat Pb tidak terdeteksi dikarenakan

adanya *limit detection* instrument sehingga tidak dapat mendeteksi konsentrasi Pb.

Kadar aluminium berdasarkan Tabel 4.1 sebesar 126.100 mg/kg sehingga terdapat potensi untuk *recovery* aluminium dari lumpur alum PDAM. Kadar logam yang terkandung dalam lumpur alum PDAM terlampir dalam Lampiran Tabel B.2.

4.2 Asidifikasi

Lumpur alum sebesar 200 gram yang telah diasidifikasi menghasilkan supernatan dan natan. Kadar Al, Pb, Cr, Cu, Fe dalam supernatan dianalisis dengan instrumen *Inductive Coupled Plasma* (ICP) tipe *Agilent Technologies series 700 ICP - OES*. Hasil analisis ICP dapat dilihat pada Tabel 4.3. H₂SO₄ ditambahkan dalam proses asidifikasi hingga pH 2 – 4 (Xu *et al.*, 2017). Bentuk ion trivalen aluminium dalam lumpur alum dipengaruhi oleh pH lumpur alum konsentrasi H₂SO₄ (Li dan Johnson, 2016). Supernatan dengan persentase konsentrasi aluminium tertinggi digunakan sebagai larutan elektrolit dalam proses elektrolisis.

Tabel 4. 2 Hasil Analisis ICP Supernatan Filtrat Hasil Asidifikasi

Parameter	pH 2	pH 3	pH 4	pH 5	Satuan
Pb	2,104	1,090	1,258	0,758	mg/L
Cr	0,680	0,092	0,036	0,054	mg/L
Cu	1,374	0,140	0,156	0,032	mg/L
Fe	198,288	196,656	26,650	7,714	mg/L
Al	3.683,000	3.092,200	287,600	9,418	mg/L

Logam Pb dalam lumpur alum PDAM dapat berasal dari lingkungan industri, pertambangan, perpipaian, minyak dan batu bara. Konsentrasi Fe dalam lumpur PDAM berasal dari air baku yang tercemar limbah industri, korosi logam, sedimen dan petambangan. Konsentrasi Cu dalam air baku PDAM dapat berasal dari limbah pelapisan logam, limbah domestik, pertambangan maupun pelindian mineral. (Masduqi dan Assomadi, 2016).

Berdasarkan Tabel 4.2 kandungan Al terbesar terdapat dalam

filtrat hasil asidifikasi pH 2. yaitu sebesar 3.683 mg/L. Kadar aluminium yang terbanyak setelah proses asidifikasi terdapat pada pH 2, 3, dan 4 sehingga elektrolisis dan asidifikasi menggunakan pH 2, 3 dan 4.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Panswad dan Chamnan (1992), *recovery* aluminium dengan asidifikasi dapat diperoleh pada pH 1,0 – 3,0 sebanyak 70-90% *Recovery* aluminium oleh Ewida *et al.* (2008) dengan asidifikasi dapat diperoleh pada pH 1,0 – 4,0 sebanyak 70-90%.

Perbedaan jumlah Al dalam Tabel 4.1 dan 4.2 dipengaruhi oleh instrumen yang digunakan. Karakterisasi awal menggunakan instrumen XRF sementara supernatan dengan menggunakan instrumen ICP. Terdapat Perbedaan *limit detection* dalam analisis unsur diantara kedua instrumen tersebut.

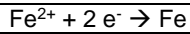
Sampel yang dianalisis XRF berupa padatan, sementara dalam analisis ICP merupakan larutan hasil asidifikasi sehingga tidak semua aluminium terlarut dalam proses asidifikasi.

4.3 Uji Polarisasi

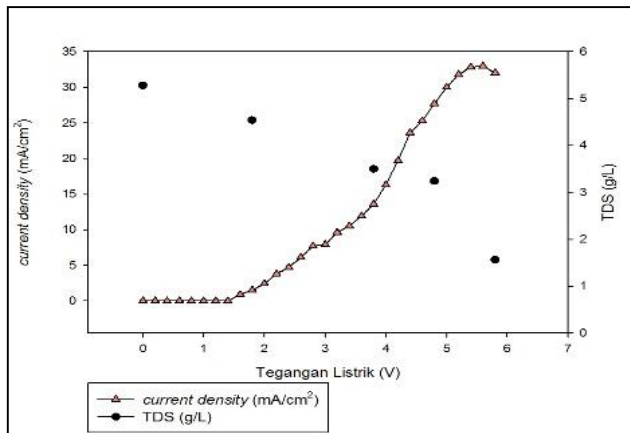
Uji polarisasi dilakukan dalam dua reaktor yang terpisah dalam waktu yang sama. Filtrat hasil asidifikasi pH 2 digunakan sebagai larutan elektrolit. Setiap reaktor dibedakan berdasarkan kuat arus listrik. Reaktor I menggunakan kuat arus listrik 0,0 A – 0,5 A dengan nilai tegangan listrik 0-6 V. Reaktor II menggunakan kuat arus listrik 0,5 – 1 A dengan nilai tegangan listrik 6-9 V. Nilai tegangan listrik, pH, kuat arus listrik dan TDS tercantum pada Lampiran B – Tabel B.3 dan B.4. Penentuan nilai dalam uji polarisasi dipengaruhi oleh nilai reduksi unsur (E^0) yang terdapat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Nilai Potensial Standar unsur dalam uji polarisasi

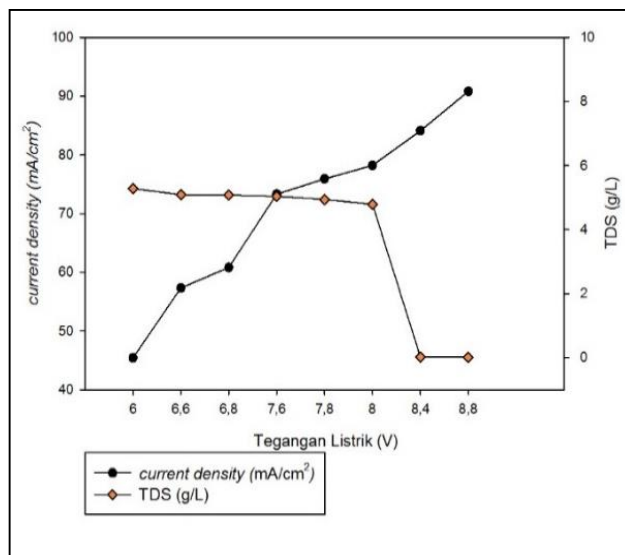
Reaksi Setengah Sel	E^0 , Volt
$\text{Ag} \rightarrow \text{Ag}^+ + \text{e}^-$	-0,779
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}$	- 0,126
$2 \text{H}_2\text{O}_{(l)} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_{2(g)} + 2\text{OH}^-$	- 0,83
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}$	- 1,66
$\text{Cu}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	0,337
$\text{Cr}^{3+} + 3 \text{e}^- \rightarrow \text{Cr}$	-0,74
$\text{Fe}^{3+} + 3 \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	-0.04



-0.44



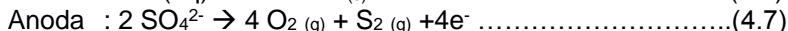
Gambar 4. 1 Uji Polarisasi dengan Kuat arus listrik 0, 0 hingga 0, 5 A



Gambar 4. 2 Uji Polarisasi dengan Kuat arus listrik 0, 5 hingga 1,0 A

Perbandingan penyisihan nilai TDS dilakukan terhadap kedua reaktor. Pada reaktor I, persentase penyisihan nilai TDS sebesar 14%, 12%, 3%, 7% dan 51%. Pada reaktor II, penyisihan nilai TDS hanya sebesar 1% walaupun terdapat penurunan nilai TDS yang besar dari 4,94 menjadi 0,0112 g/L. Nilai TDS berhubungan dengan ion-ion penghantar listrik dalam filtrat hasil asidifikasi. Berkurangnya nilai TDS dalam suatu filtrat berbanding lurus dengan berkurangnya ion-ion penghantar listrik akibat proses oksidasi reduksi.

Reaksi yang terjadi ialah :



Total dissolved solids yang berkurang berpengaruh terhadap nilai hambatan. Nilai hambatan yang naik berpengaruh terhadap nilai tegangan listrik. Hubungan antara tegangan listrik dan hambatan adalah:

$V = I.R$(4.9)

Terbentuk gas H_2 di katoda perak saat kuat arus listrik 100 mA. Terbentuk gas O_2 di anoda karbon saat kuat arus listrik 300 mA. Kuat arus listrik 500 mA tidak dipilih sebagai kuat arus listrik dikarenakan adanya gelembung oksigen dari katoda maupun anoda, indikasi adanya elektrolisis air. Produk yang terbentuk setelah akhir proses adalah terbentuknya endapan logam pada katoda dan tidak adanya endapan koloid $\text{Al}(\text{OH})_3$ pada dasar reaktor maupun *feed tank*. Hal berhubungan dengan konsumsi energi proses. Kuat arus listrik 200 mA dipilih untuk melihat perbandingan logam yang menempel di katoda perak diantara 100 dan 300 mA.

Berdasarkan grafik dalam Gambar 4.2, uji polarisasi dimulai pada 0,5 A. Anoda karbon yang digunakan meluruh dikarenakan tingginya kuat arus listrik yang digunakan, sehingga uji polarisasi dihentikan Berdasarkan hal tersebut, kuat arus listrik yang dipilih adalah 100, 200, 300 mA dengan waktu operasi proses selama 10 jam.

4.4 Proses Elektrolisis

Proses elektrolisis dengan AEM terdiri atas 3 variasi kuat arus listrik (100, 200, 300 mA) dan 3 variasi pH (2, 3, 4). Kuat arus listrik

diperoleh berdasarkan uji polarisasi. pH 2,3 dan 4 dipilih berdasarkan Tabel 4.2 dimana aluminium yang terekstraksi paling banyak. Waktu operasi dari proses elektrolisis sebesar 10 jam. Volume filtrat hasil asidifikasi dan larutan buffer Kalium natrium tartrat sebesar 1 L.

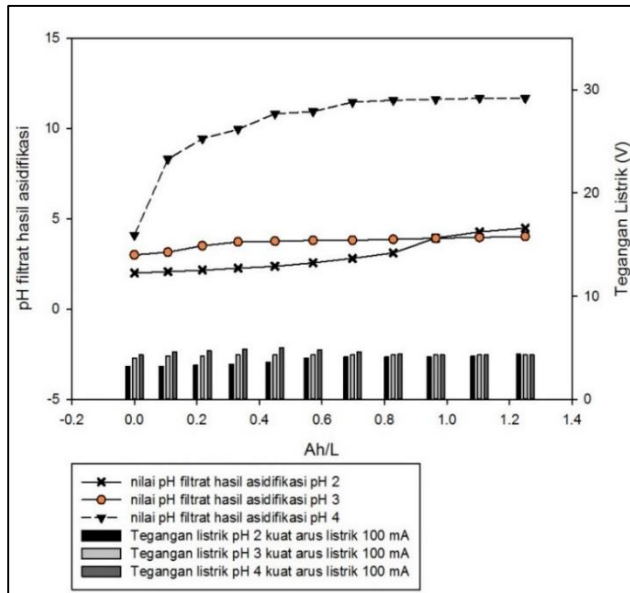
Jenis membran yang digunakan ialah *anion exchange membrane*. Selama proses elektrolisis terbentuk kation dan anion dari proses oksidasi dan reduksi. Membran AEM terdiri atas senyawa polimer polystyrene dengan divinylbenzene yang termasuk dalam gugus fungsi ammonium (Valero *et al.*, 2011). Ammonium penyusun membran AEM mempunyai muatan positif sehingga menghalangi kation untuk melewati membran. Anion yang terbentuk berupa OH^- , SO_4^{2-} dapat melewati membran AEM sehingga memengaruhi nilai pH pada filtrat dan larutan buffer. Keseimbangan nilai pH yang terjadi selama proses elektrolisis berupa kenaikan nilai pH di kompartemen katoda perak diikuti dengan penurunan nilai pH pada kompartemen anoda karbon. Larutan buffer dengan kalium natrium tartrat dialirkan menuju kompartemen dengan anoda karbon. Larutan buffer berfungsi untuk keseimbangan nilai pH dalam proses yaitu sebagai penangkap ion-ion berupa anion maupun kation.

4.4.1 Perbandingan Nilai pH dan Tegangan Listrik pada Proses Elektrolisis

Perbandingan nilai pH dan tegangan listrik dilakukan terhadap proses elektrolisis pada kuat arus listrik 100, 200, 300 mA dan pada pH 2, 3, 4. Grafik perbandingan nilai pH dan tegangan listrik dapat lihat pada Gambar 4.3-4.5. Nilai pH, TDS, DHL, tegangan listrik proses elektrolisis tercantum pada Lampiran Tabel B.5 – B.13.

Berdasarkan Gambar 4.3, nilai tegangan listrik pada pH 2 dengan kuat arus listrik 100 mA mengalami kenaikan dari 3,20 V menjadi 4,40 V. Nilai tegangan listrik pada pH 3 dengan kuat arus listrik 100 mA dari awal hingga jam ke 3 mengalami kenaikan dari 4,00 V menjadi 4,30 V. Nilai tegangan listrik stabil dari jam ke 3 hingga akhir proses elektrolisis. Nilai tegangan listrik pada pH 4 dengan kuat arus listrik 100 mA mengalami kenaikan dari 4,30 V menjadi 5,00 V dan kembali menjadi 4,30 V pada akhir proses

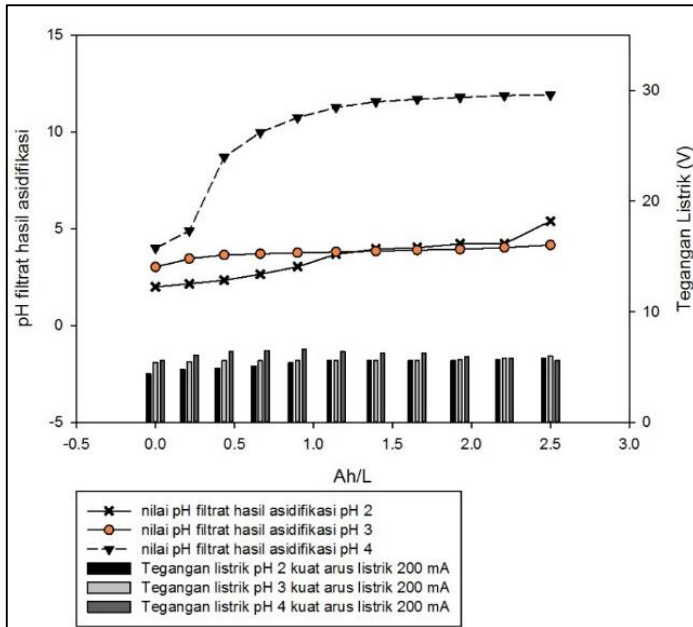
elektrolisis. Filtrat hasil asidifikasi dengan pH 2 mengalami kenaikan nilai pH dari 2,00 menjadi 4,49. Filtrat hasil asidifikasi dengan pH 3 mengalami kenaikan nilai pH dari 3,00 menjadi 4,03. Filtrat hasil asidifikasi dengan pH 4 mengalami kenaikan nilai pH dari 4,10 menjadi 11,68. Nilai pH akhir menentukan banyaknya logam yang terlarut dan terendap pada katoda.



Gambar 4. 3 Perbandingan Kenaikan Nilai pH pada Kuat arus listrik 100 mA

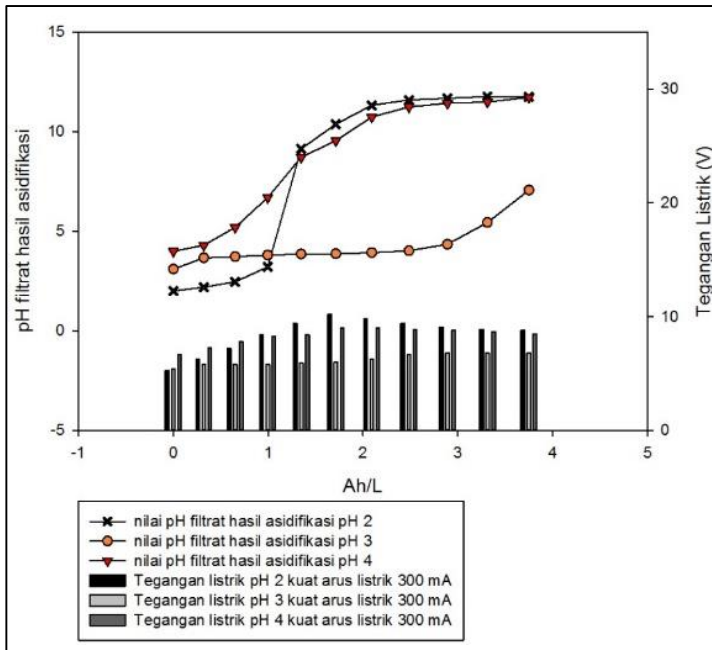
Berdasarkan Gambar 4.4, nilai tegangan listrik pada pH 2 dengan kuat arus listrik 200 mA mengalami kenaikan dari 4,40 V menjadi 5,80 V. nilai tegangan listrik pada pH 3 dengan kuat arus listrik 200 mA dari awal hingga akhir elektrolisis mengalami kenaikan secara bertahap dari 5,4 hingga 6,0 Volt. Nilai tegangan listrik pada pH 4 dengan kuat arus listrik 200 mA mengalami kenaikan dari 5,60 V menjadi 6,60 V dan kembali menjadi 5,60 V pada akhir proses elektrolisis. Filtrat hasil asidifikasi dengan pH 2 mengalami kenaikan nilai pH dari 2,00 menjadi 5,39. Filtrat hasil asidifikasi dengan pH 3 mengalami kenaikan nilai pH dari 3,02

menjadi 4,16. Filtrat hasil asidifikasi dengan pH 4 mengalami kenaikan nilai pH dari 4,00 menjadi 11,92.



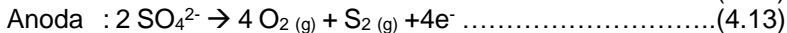
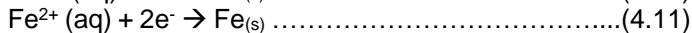
Gambar 4. 4 Perbandingan Kenaikan Nilai pH pada Kuat arus listrik 200 mA

Berdasarkan Gambar 4.5, nilai tegangan listrik pada pH 2 dengan kuat arus listrik 300 mA mengalami kenaikan dari 4,40 V menjadi 5,80 V. Nilai tegangan listrik pada pH 3 dengan kuat arus listrik 300 mA mengalami kenaikan secara bertahap dari 5,4 V hingga 6,8 V. Nilai tegangan listrik pada pH 4 dengan kuat arus listrik 300 mA mengalami kenaikan dari 6,70 V menjadi 8,50 V. Filtrat hasil asidifikasi dengan pH 2 mengalami kenaikan nilai pH dari 2,00 menjadi 11,76. Filtrat hasil asidifikasi dengan pH 3 mengalami kenaikan nilai pH dari 3,10 menjadi 7,10. Filtrat hasil asidifikasi dengan pH 4 mengalami kenaikan nilai pH dari 4,00 menjadi 11,73.



Gambar 4. 5 Perbandingan Kenaikan Nilai pH pada Kuat arus listrik 300 mA

Reaksi yang terjadi dalam proses elektrolisis ialah :



Total dissolved solids yang berkurang berpengaruh terhadap nilai hambatan. Nilai hambatan yang naik berpengaruh terhadap nilai tegangan listrik berdasarkan persamaan 4.9.

Nilai pH asam terjadi di anoda sementara pH basa terjadi di katoda sehingga kenaikan pH di katoda dan penurunan pH di anoda (Acar dan Alshawabkeh,1993). Hal tersebut tercantum dalam Persamaan 4.12 dan 4.14. Penurunan nilai pH pada kompartemen anoda berisi larutan buffer merupakan reaksi

pelepasan elektron untuk ditangkap oleh anoda (Varcoe *et al.*, 2014).

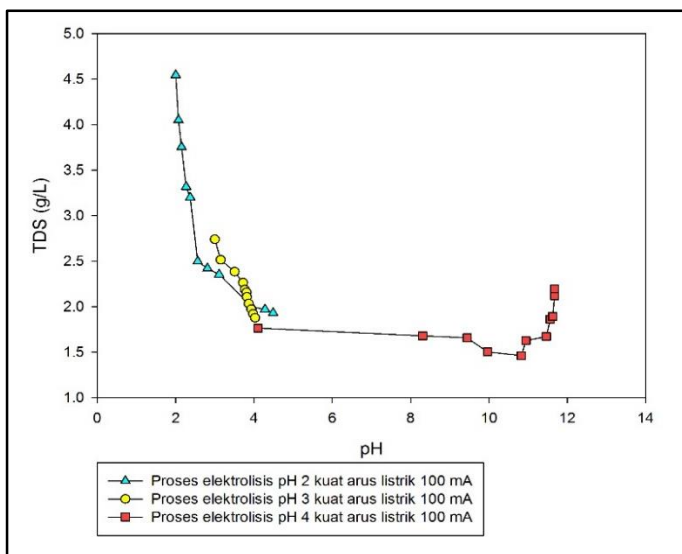
Penggunaan tegangan listrik yang tinggi dapat menambah efisiensi penyisihan aluminium (Reed *et al.*, 1996). Arus listrik yang dialirkan diantara katoda dan anoda menghasilkan medan listrik yang memengaruhi efisiensi penyisihan Al (Peng *et al.*, 2011). Penurunan nilai kuat arus listrik mengindikasikan berkurangnya perpindahan ion (Hamed dan Bhadra, 1997). Berdasarkan Persamaan 4.9, kenaikan nilai tegangan listrik ekivalen dengan nilai kuat arus listrik.

Terdapat tiga sumber perpindahan ion dalam proses yaitu proses elektrolisis, ekstraksi lumpur alum dan asam sulfat (Xu *et al.*, 2017). Nilai pH dalam proses berpengaruh terhadap bentuk ionik aluminium. Perpindahan ion sesuai dengan bentuk ioniknya. Bentuk ionik aluminium yang telah diketahui memengaruhi efisiensi dan arah perpindahan ion (Driscoll dan Schecher, 1990). Konsentrasi Al rendah di area anoda dan tinggi di area katoda. Ion H^+ diproduksi pada kompartemen anoda sehingga nilai pH berkurang. Ion OH^- diproduksi pada kompartemen katoda sehingga nilai pH bertambah. Medan listrik yang dihasilkan diantara katoda dan anoda memengaruhi efek elektromigrasi dan elektroosmosis dengan membran AEM.

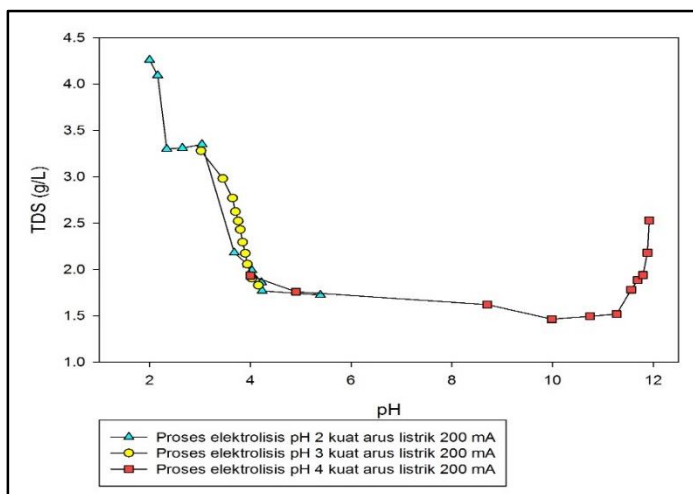
4.4.2 Perbandingan Nilai TDS pada Filtrat Hasil Asidifikasi pada Proses Elektrolisis

Pengukuran nilai TDS pada filtrat hasil asidifikasi dilakukan pada semua variasi proses elektrolisis. Grafik penyisihan TDS dapat dilihat pada Gambar 4.6 – 4.8.

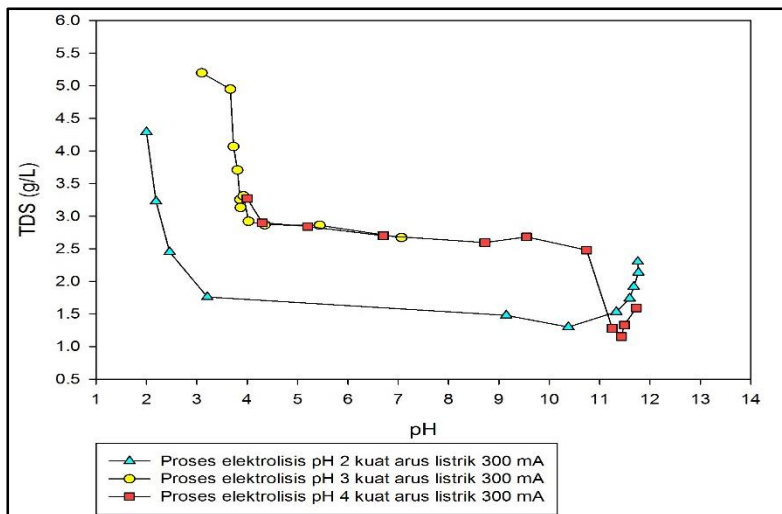
Pengukuran nilai TDS dengan menggunakan instrumen ion lab OHAUS. Nilai TDS filtrat hasil asidifikasi dan larutan buffer terdapat pada Lampiran Tabel B.5 hingga B.13. Dapat dilihat pada Gambar 4.6, nilai TDS pada proses pH 2 kuat arus listrik 100 mA mengalami penurunan dari 4,54 menjadi 1,93 g/L. Nilai TDS pada proses pH 3 kuat arus listrik 100 mA mengalami penurunan dari 2,74 menjadi 1,76 g/L. Nilai TDS pada proses pH 4 kuat arus listrik 100 mA mengalami kenaikan dari 1,88 menjadi 2,19 g/L.



Gambar 4. 6 Perbandingan Penyisihan TDS Filtrat Hasil Asidifikasi pH 2, 3 dan 4 pada Kuat arus listrik 100 mA



Gambar 4. 7 Perbandingan Penyisihan TDS Filtrat Hasil Asidifikasi pH 2, 3 dan 4 pada Kuat Arus Listrik 200 mA



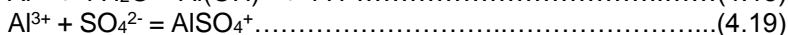
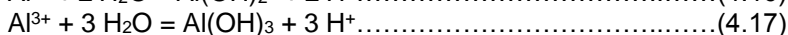
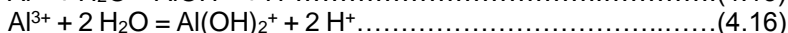
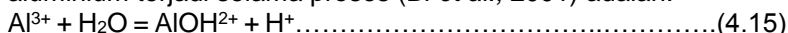
Gambar 4. 8 Perbandingan Penyisihan TDS Filtrat Hasil Asidifikasi pH 2, 3 dan 4 pada Kuat arus listrik 300 mA

Dalam Gambar 4.7, nilai TDS pada proses pH 2 kuat arus listrik 200 mA mengalami penurunan dari 4,26 menjadi 1,72 g/L. Nilai TDS pada proses pH 3 kuat arus listrik 200 mA mengalami penurunan dari 3,28 menjadi 1,83 g/L. Nilai TDS pada proses pH 4 kuat arus listrik 200 mA mengalami kenaikan dari 1,93 menjadi 2,53 g/L. Dalam Gambar 4.8, nilai TDS pada proses pH 2 kuat arus listrik 300 mA mengalami penurunan dari 4,29 menjadi 2,30 g/L. Nilai TDS pada proses pH 3 kuat arus listrik 300 mA mengalami penurunan dari 5,19 menjadi 2,67 g/L. Nilai TDS pada proses pH 4 kuat arus listrik 300 mA mengalami kenaikan dari 3,27 menjadi 1,59 g/L.

Nilai TDS berhubungan dengan nilai konduktivitas larutan. Nilai TDS dapat diestimasi dengan mengalikan nilai konduktivitas dengan faktor sebesar 0,55 – 0,9 (APHA, 2012). Faktor tersebut dipengaruhi oleh suhu dan komponen *soluble*. Nilai konduktivitas dipengaruhi oleh kation, anion, mobilitas ion dan valensi ion. Lumpur alum mengandung kandungan TFS yang tinggi

(Tabel 4.1) dengan kadar anorganik yang tinggi sehingga dapat menghantarkan listrik dengan baik (APHA,2012).

Berdasarkan Gambar 4.6 – 4.8, terdapat penurunan dan penambahan nilai TDS pada semua variasi elektrolisis. Hal tersebut dipengaruhi oleh pH selama proses elektrolisis. Bentuk kimia dari ion Al berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi penyisihan Al (Hashim *et al.*, 2011). pH lumpur alum dapat merubah bentuk kimia dari ion Al secara jelas sehingga memungkinkan untuk meningkatkan efisien penyisihan Al (Lee dan Yang, 2000). Asam sulfat yang digunakan menghasilkan ion SO_4^{2-} dan dapat berikatan dengan ion Al^{3+} menjadi $\text{Al}(\text{SO}_4)^+$ dan $\text{Al}(\text{SO}_4)^{2-}$ (Li dan Johnson, 2016). Persamaan bentuk ionik aluminium terjadi selama proses (Bi *et al.*, 2001) adalah:



Penambahan konsentrasi nilai TDS diawali dengan penyisihan nilai TDS di tengah proses elektrolisis dan diikuti dengan penambahan nilai TDS hingga akhir proses elektrolisis. Perpindahan Al^{3+} tidak dipengaruhi oleh jumlah Al^{3+} secara keseluruhan (Wang *et al.*, 2005). Bentuk ionik aluminium berdasarkan Persamaan 4.18, merupakan ion *insoluble* dan tidak dapat direduksi pada katoda. Hal tersebut berpengaruh terhadap pembacaan nilai TDS sebagai adanya kenaikan nilai TDS. Pengukuran TDS tidak membedakan ion (Weber-scannel dan Duffy, 2007). Bentuk ionik aluminium pada pH 6-8 ialah $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan $\text{Al}(\text{OH})_4^-$. Mobilitas ion berkurang dalam bentuk ionik tersebut (Xu *et al.*, 2017) dan adanya penghalang berupa membran AEM.

4.4.3 Perbandingan Berat Koloid Kering dan Berat Endapan pada Katoda Perak

Pada proses elektrolisis menggunakan membran AEM menghasilkan endapan pada katoda perak dan endapan koloid pada *feed tank*. Perhitungan berat endapan pada katoda dan berat koloid tercantum pada Lampiran B.

Tabel 4. 4 Berat Endapan Logam pada Katoda Perak dan Berat Koloid pada Proses Elektrolisis

	pH 2		pH 3		pH 4	
	berat endapan logam di katoda (g)	berat koloid (g)	berat endapan logam di katoda (g)	berat koloid (g)	berat endapan logam di katoda (g)	berat koloid (g)
100 mA	0,658	1,393	1,168	0,586	0,118	0,514
200 mA	0,978	1,102	1,801	0,736	0,311	1,060
300 mA	1,250	0,492	2,990	0,912	0,351	1,251

Berdasarkan Tabel 4.4, berat endapan logam pada katoda terbesar terdapat pada pH 3 kuat arus listrik listik 300 mA. Beberapa faktor yang memengaruhi berat endapan pada katoda dan berat koloid yaitu kuat arus listrik, pH akhir proses, pH larutan buffer, jarak antar elektroda. Pada proses elektrolisis pH 3 kuat arus listrik 300 mA, pH akhir filtrat yaitu 7,1. Nilai pH berpengaruh terhadap bentuk ionik aluminium yaitu $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang cenderung mudah tereduksi pada katoda perak.

4.5 Korelasi antar Parameter

Semakin besar nilai tegangan listrik, semakin besar hambatan. Hambatan yang besar dipengaruhi oleh TDS yang telah tereduksi menjadi endapan pada katoda. Semakin kecil nilai pH, semakin larut logam. Semakin besar nilai pH, semakin berpengaruh terhadap bentuk ionik aluminium. Berpengaruh terhadap jumlah massa endapan logam pada katoda dan endapan koloid. Kuat arus listrik berpengaruh terhadap kecepatan reaksi dan rapat arus listrik. Rapat arus listrik merupakan kuat arus listrik di sekitar elektroda. Dimensi elektroda berpengaruh terhadap rapat arus listrik yang dihasilkan.

4.6 Kesenimbangan Massa Aluminium

Analisis kesetimbangan massa aluminium dalam penelitian ini ditinjau dari massa aluminium (g). Massa aluminium terdiri atas massa awal, akhir, pada elektroda, pada endapan

koloid. Analisis kesetimbangan massa aluminium menggunakan persamaan 3.2,

$$Al_0 = Al_{10} + Al_p + \text{endapan koloid} \dots \dots \dots (3.2)$$

Al_0 = konsentrasi Al awal (mg/L) x volume elektrolit (L)

Al_{10} = konsentrasi Al akhir (mg/L) x volume elektrolit (L)

Al_p = %Al x Δ berat kering katoda perak

$$\text{endapan koloid} = \frac{BM \text{ Al}}{BM \text{ Al(OH)}_3} \times \Delta \text{ berat kering koloid}$$

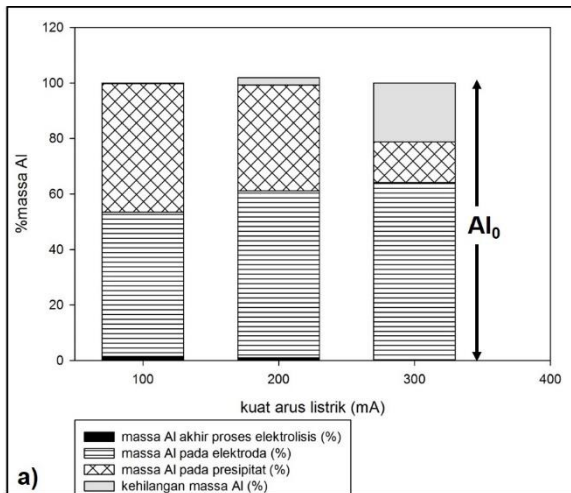
Keterangan:

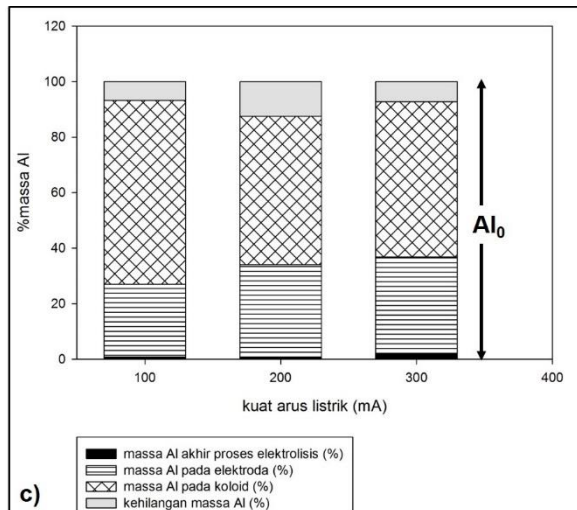
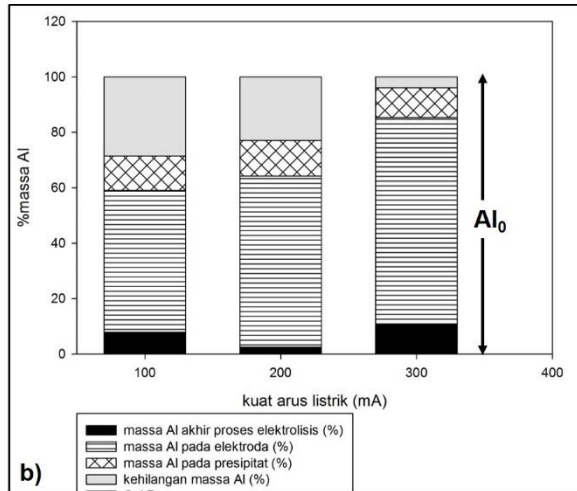
Al_0 = massa Al pada awal proses elektrolisis (g)

Al_{10} = massa Al pada awal proses elektrolisis (g)

Al_p = massa Al pada katoda perak (g)

endapan koloid = berat kering endapan koloid (g)





**Gambar 4. 9 Kestimbangan Massa Aluminium Proses Elektrolisis
 a) pH 2 ; b) pH 3 ; c) pH 4**

Tabel 4. 5 Kesetimbangan Massa Aluminium

	Kesetimbangan Massa Al (g)				
	Al ₀	Al ₁₀	koloid	perak	kehilangan massa
	A	B	C	D	F = A-(B+C+D)
pH 2 100 mA	1,04	0,02	0,48	0,54	0,00
	100,0%	1,5%	46,2%	52,0%	0,3%
pH 2 200 mA	1,05	0,01	0,38	0,63	0,03
	100,0%	1,0%	38,1%	60,1%	2,7%
pH 2 300 mA	1,16	0,00	0,17	0,74	0,25
	100,0%	0,2%	14,7%	64,0%	21,2%
pH 3 100 mA	1,64	0,13	0,20	0,84	0,47
	100,0%	7,9%	12,3%	51,2%	28,5%
pH 3 200 mA	2,00	0,05	0,25	1,23	0,46
	100,0%	2,5%	12,7%	61,8%	22,9%
pH 3 300 mA	2,93	0,31	0,32	2,19	0,12
	100,0%	10,6%	10,8%	74,7%	3,9%
pH 4 100 mA	0,27	0,00	0,18	0,07	0,02
	100,0%	0,7%	66,3%	26,2%	6,8%
pH 4 200 mA	0,69	0,00	0,37	0,23	0,09
	100,0%	0,4%	53,4%	33,7%	12,5%
pH 4 300 mA	0,77	0,01	0,43	0,27	0,06
	100,0%	1,9%	55,9%	34,9%	7,2%

Gambar 4.9a menunjukkan grafik kesetimbangan massa aluminium pada proses elektrolisis pH 2 kuat arus listrik 100, 200, 300 mA. Persentase massa aluminium awal proses elektrolisis masing-masing kuat arus listrik sebesar 100%. Persentase massa aluminium akhir proses elektrolisis masing-masing kuat arus listrik sebesar 1,5%; 1,0%; 0,2%. Persentase massa aluminium yang menempel pada elektroda perak masing-masing kuat arus listrik sebesar 52,0%; 60,1%; 64,0%. Persentase massa aluminium dalam endapan koloid masing-masing kuat arus listrik sebesar

46,2%; 38,1%; 14,7%. Persentase kehilangan massa aluminium selama proses elektrolisis masing-masing kuat arus listrik sebesar 0,3%; 2,7%; 21,2%.

Gambar 4.9b menunjukkan grafik kesetimbangan massa proses eletrolisis pH 3 kuat arus listrik 100, 200, 300 mA. Persentase massa aluminium awal proses elektrolisis masing-masing kuat arus listrik sebesar 100%. Persentase massa aluminium akhir proses elektrolisis masing-masing kuat arus listrik sebesar 7,9%; 2,5%; 10,6%. Persentase massa aluminium yang menempel pada elektroda perak masing-masing kuat arus listrik sebesar 51,2%; 61,8%; 74,7%. Persentase massa aluminium dalam endapan koloid masing-masing kuat arus listrik sebesar 12,3%; 12,7%; 10,8%. Persentase kehilangan massa aluminium selama proses elektrolisis masing-masing kuat arus listrik sebesar 28,5%; 22,9%; 3,9%.

Gambar 4.9c menunjukkan grafik Kesetimbangan Massa proses eletrolisis pH 4 kuat arus listrik litrik 100, 200, 300 mA. Persentase massa aluminium awal proses elektrolisis masing-masing kuat arus listrik sebesar 100%. Persentase massa aluminium akhir proses elektrolisis masing-masing kuat arus listrik sebesar 0,7%; 0,4%; 1,9%.Persentase massa aluminium yang menempel pada elektroda perak masing-masing kuat arus listrik sebesar 26,2%; 33,7%; 34,9%. Persentase massa aluminium dalam endapan koloid masing-masing kuat arus listrik sebesar 66,3%; 53,4%; 55,9%. Persentase kehilangan massa aluminium selama proses elektrolisis masing-masing kuat arus listrik sebesar 6,8%; 12,5%; 7,2%.

Kehilangan massa aluminium setelah proses elektrolisis, apat disebabkan oleh menempelnya aluminium pada membran AEM.

4.7 Penyisihan Logam *Impurities*

Recovery aluminium ditinjau dari persentase logam aluminium yang menempel pada katoda perak. Terdapat logam selain aluminium yang menempel pada katoda perak. *Recovery* logam didominasi oleh logam Al dan Fe.

Tabel 4. 6 Persentase Recovery Logam Al dan Fe

Proses Elektrolisis	%Recovery Fe	%Recovery Al
pH 2 100 mA	17,61	52,04
pH 2 200 mA	31,60	60,15
pH 2 300 mA	40,13	63,97
pH 3 100 mA	59,63	51,20
pH 3 200 mA	65,93	61,78
pH 3 300 mA	24,15	74,70
pH 4 100 mA	14,54	26,20
pH 4 200 mA	55,67	33,72
pH 4 300 mA	64,78	34,95

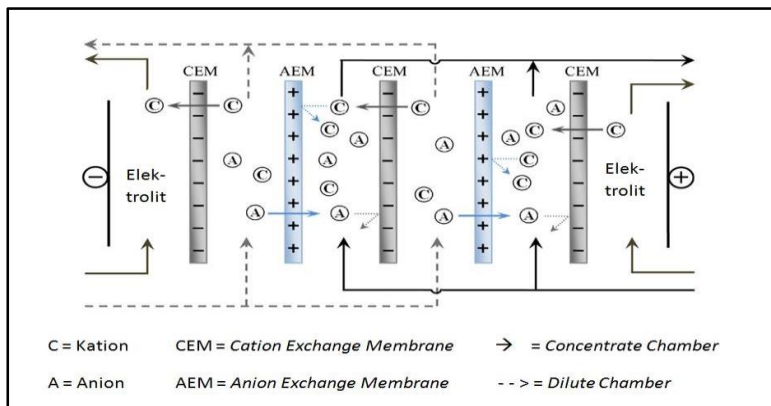
Logam Fe yang terdapat pada lumpur alum berasal dari air baku yang digunakan dalam proses pengolahan air minum. Tabel 4.4 menunjukkan bahwasanya logam Fe dan logam lainnya terekstraksi dalam proses asidifikasi. Perhitungan %*recovery* Al dan Fe terdapat pada lampiran.

Proses elektrokimia untuk pemisahan logam *impurities* adalah proses elektrodialisis. Proses elektrodialisis merupakan proses yang selektif sehingga dapat menghasilkan produk *recovery* yang lebih murni. Proses elektrodialisis menggunakan membran penukar anion (AEM) dan kation (CEM) diantara katoda dan anoda. Perbedaan antara proses dialisis dan elektrodialisis adalah *driving force*. *Driving force* pada elektrodialisis adaah gaya elektromotif ehingga akan menghasilkan tingkat transfer ion yang meningkat (Masduqi dan Assomadi, 2016). Kuat arus listrik digunakan menghasilkan *internal potential gradient* untuk memindahkan ion dalam larutan (Brewster *et al.*, 2016). Penerapan proses elektrodialisis dalam industri berupa desalinasi air payau, produksi garam dan demineralisasi air (Strathmann, 2010).

Terdapat adanya persamaan faktor yang berpengaruh diantara proses elektrolisis dengan membran anion dan elektrodialisis. Faktor tersebut terdiri atas *Direct Current Supply* (Huang *et al.*, 2007), Elektroda (Riyanto, 2013), Membran (Valero *et al.*, 2011). Terdapat persamaan untuk perawatan membran antara elektrolisis dengan membran AEM dan elektrodialisis.

Proses elektrodialisis diawali dengan adanya asidifikasi logam yang menempel pada katoda perak dengan asam nitrat pH 2. Hasil dari

asidifikasi berupa larutan elektrolit sebanyak 1 L. Dalam penelitian ini menggunakan membran AEM, sementara dalam proses elektrodialisis menggunakan membran AEM dan CEM. Membran tersebut selektif terhadap ion yang melaluinya, sehingga hanya ion-ion tertentu yang dapat lolos (Valero *et al.*, 2011). Skema proses elektrodialisis terdapat pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Proses Elektrodialisis

Sumber : Jiang *et al.*, (2014)

4.8 Konsumsi Energi Spesifik Proses

Perhitungan konsumsi energi spesifik pada proses elektrolisis berkaitan dengan tegangan listrik dan muatan listrik spesifik proses. Tabel 4.6 merupakan nilai konsumsi energi spesifik proses berdasarkan dan massa *recovery* aluminium. Nilai TDS yang terukur (g/L) dikonversikan menjadi massa TDS dengan volume filtrat hasil asidifikasi yang tersedia dalam *feed tank*. Massa TDS tersisihan merupakan hasil dari pengurangan massa TDS awal proses dengan massa TD akhir proses. Massa Al merupakan perbandingan konsentrasi Al (mg/L) dengan logam *impurities* pada katoda perak dikalikan dengan massa endapan pada katoda perak. Pengambilan filtrat hasil asidifikasi per jam berpengaruh terhadap volume yang tersisa pada *feed tank*. Volume yang tersisa pada *feed tank* berpengaruh terhadap muatan listrik spesifik per jam. Konsumsi energi spesifik diperoleh dari muatan listrik spesifik akhir proses dikalikan dengan rata-rata nilai tegangan listrik.

Penentuan efektif atau tidaknya proses ditentukan dengan pengukuran massa Al pada katoda per konsumsi energi spesifik. Hasil konsumsi energi spesifik setiap proses tercantum pada Tabel 4.6. Perhitungan massa Al pada katoda tercantum pada Lampiran B.

Tabel 4. 7 Konsumsi Energi Spesifik dengan Parameter *Recovery* Aluminium

pH	kuat arus listrik (mA)	massa Al pada katoda (g)	Konsumsi energi spesifik (Wh/L)	massa Al terecovery / konsumsi energi spesifik
2	100	0,543	3,981	0,136
	200	0,631	11,196	0,056
	300	0,742	26,641	0,028
3	100	0,841	8,957	0,094
	200	1,235	11,866	0,104
	300	2,191	13,033	0,168
4	100	0,070	9,608	0,007
	200	0,232	12,919	0,018
	300	0,271	17,493	0,015

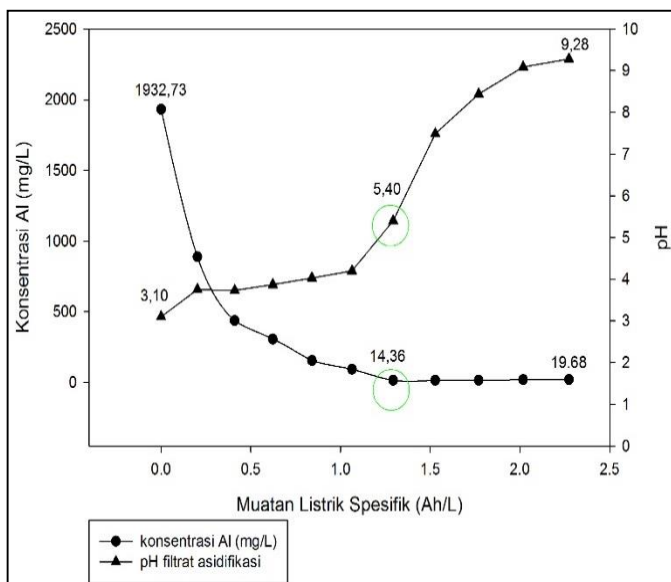
Tabel 4.6, massa Al terbesar terdapat pada pH 3 kuat arus listrik 300 mA yaitu sebesar 2,191 gram. Proses elektrolisis pH 3 kuat arus listrik 300 mA membutuhkan konsumsi energi spesifik sebesar 0,168 Wh/L.

4.9 Proses Elektrolisis pH 3 Kuat Arus Listrik 300 mA

Berdasarkan penelitian, massa aluminium terbesar terdapat pada proses elektrolisis pH 3 kuat arus listrik 300 mA. Pengulangan penelitian dilakukan untuk mengetahui endapan aluminium yang terbentuk per jam, hubungan nilai pH dan TDS dan penyisihan nilai COD.

Kompartemen katoda perak dialirkan filtrat hasil asidifikasi dan kompartemen anoda karbon dialirkan larutan buffer pH 3 dengan pompa peristaltik. Waktu operasi selama 10 jam. Pengambilan sampel filtrat hasil asidifikasi setiap jam untuk pengukuran nilai pH,

TDS, DHL dan analisis logam (Al, Pb, Cr, Cu, Fe). Hasil pengukuran nilai TDS, DHL dan pH terdapat pada Lampiran Tabel B.14. Hasil analisis ICP mengenai kandungan logam terdapat pada Lampiran Tabel B.32 hingga B.42.



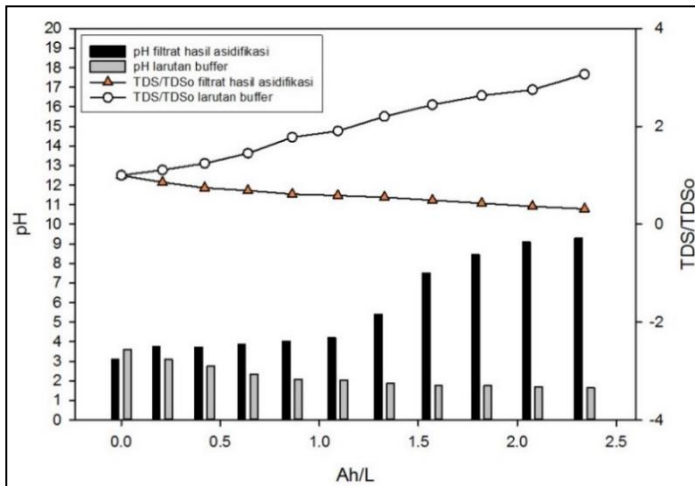
Gambar 4. 11 Pembentukan Endapan Aluminium pada Katoda Perak

Gambar 4.11 menunjukkan konsentrasi aluminium awal sebesar 1.932,73 mg/L dengan nilai pH sebesar 3.10. Konsentrasi aluminium terendah sebesar 14,36 mg/L; 14,70 mg/L dan 14,95 mg/L pada jam ke- 6 hingga 8. Nilai pH pada jam ke 6-8 sebesar 5,40; 7,49; 8,44. Pada akhir proses, nilai konsentrasi aluminium meningkat dari 14,36 mg/L menjadi 19,68 mg/L. Nilai pH akhir proses sebesar 9,28.

Terdapat perbedaan berat endapan pada logam secara keseluruhan antara proses elektrolisis pH 3 300 mA pertama dan kedua. Berat endapan logam pertama sebesar 2,990 gram sementara berat endapan logam kedua sebesar 2,46 gram. Perbedaan konsentrasi aluminium dan berat endapan pada katoda diakibatkan oleh nilai pH akhir proses.

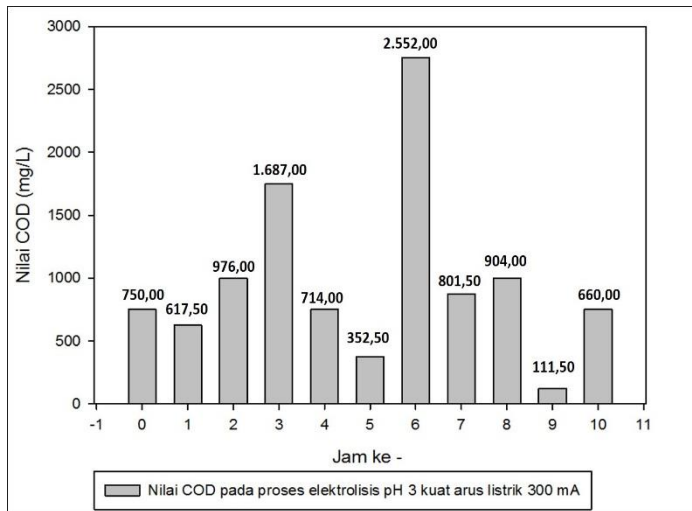
Bentuk ionik aluminium pada pH 5 adalah Al^{3+} , $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ dan $\text{Al}(\text{OH})_4^-$. Bentuk ionik aluminium yang dominan pada kisaran pH 7 hingga 9 adalah $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ (Xu *et al.*, 2017). Konsentrasi aluminium yang rendah menandakan adanya reaksi reduksi pembentukan endapan aluminium pada katoda.

Penurunan konsentrasi aluminium merupakan indikasi bahwasanya waktu operasi optimum elektrolisis sebesar 6 hingga 8 jam.



Gambar 4. 12 Hubungan Nilai pH dan TDS pH 3 kuat arus listrik 300 mA

Berdasarkan Gambar 4.12, menunjukkan adanya kenaikan nilai pH filtrat hasil asidifikasi dan penurunan nilai pH larutan buffer. Nilai pH filtrat hasil asidifikasi meningkat dari 3,1 menjadi 9,3. Nilai pH larutan buffer menurun dari 3,61 hingga 1,65. Nilai TDS/TDS₀ filtrat hasil asidifikasi dan larutan buffer masing-masing mengalami penurunan dan peningkatan. Nilai TDS/TDS₀ filtrat hasil asidifikasi berkurang dari 1,00 menjadi 0,31. TDS telah tereduksi menjadi endapan pada katoda perak. Nilai TDS/TDS₀ larutan buffer bertambah dari 1,00 hingga 3,066. Massa TDS yang hilang sebesar 2,25 gram. Nilai konduktivitas listrik dalam larutan buffer meningkat seiring meningkatnya nilai TDS dalam larutan buffer (Baiju *et al.*, 2017).

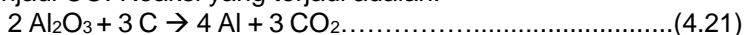


Gambar 4. 13 Nilai COD dan pH 3 kuat arus listrik 300 mA

Kandungan zat organik yang terkandung dalam lumpur alum diukur dengan pendekatan nilai COD. Perhitungan nilai COD terdapat pada Lampiran B. Pengukuran nilai COD setiap jam dilakukan pada proses elektrolisis dengan nilai *recovery* aluminium tertinggi yaitu pH 3 kuat arus listrik 300 mA dengan jarak antar elektroda 1 cm. Berdasarkan Gambar 4.16 menunjukkan adanya nilai COD yang fluktuatif. Nilai COD awal dan akhir sebesar 750,00 mgO₂/L dan 660,00 mgO₂/L. Nilai COD terkecil sebesar 111,50 mgO₂/L pada jam ke-9 dan terbesar sebesar 2552,00 pada jam ke 6. Senyawa organik dengan muatan negatif dapat dipindahkan melalui membran AEM dan menyebabkan *fouling* (Benvenuti *et al.*, 2016). Faktor yang berpengaruh terhadap hasil analisis COD adalah sifat dari pelarut, jumlah oksigen dalam larutan, *impurities*, volume sampel dan temperature (Talinli dan Anderson, 1992). Logam pengganggu analisis COD adalah Fe²⁺, S²⁻ dan Mn²⁺ (APHA, 2012). Konsentrasi logam Fe dalam lumpur alum terdapat pada Lampiran B – Tabel B.1. Berdasarkan hal tersebut, menandakan adanya indikasi oksidasi zat organik dan logam Fe.

4.10 Aplikasi Elektrolisis dengan Membran AEM

Produksi aluminium murni umumnya menggunakan proses Bayer dan Hall-Herault dengan elektrolisis. Prinsip dalam proses tersebut adalah penurunan titik lebur suatu zat apabila dihomogenkan dengan zat lain (Setyawan, 2013). Biji alumina (Al_2O_3) dengan titik lebur 2050°C dihomogenkan dengan *cryolite*, Na_3AlF_6 (15%). Campuran zat tersebut menurunkan titik lebur menjadi 1000°C . Anoda yang digunakan adalah karbon. Karbon teroksidasi oleh ion oksida yang dilepaskan dari reduksi Al^{3+} menjadi CO. Reaksi yang terjadi adalah:



Reaksi samping yang dihasilkan adalah CO, HF (dari *cryolite*) dan hidrokarbon dari elektroda. Hal tersebut dapat menjadi sumber pencemaran lingkungan yang serius. Produksi aluminium dengan proses Hall-Herault membutuhkan biaya operasi yang besar.

Perolehan kembali aluminium dengan proses elektrolisis dengan membran AEM dapat menghasilkan aluminium. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, persentase kemurnian aluminium dapat diatas 70%. Produk yang dihasilkan berupa logam aluminium yang dapat digunakan sebagai bahan baku industri kreatif aluminium skala kecil hingga menengah. Logam aluminium yang diperoleh dapat dijadikan kembali sebagai koagulan dengan sedikit logam pengotor (Wahyudin, 2001). Lumpur setelah proses asidifikasi dapat dimanfaatkan kembali. Penelitian oleh Maulanie dan Nurjati (2002) mengenai pemanfaatan lumpur sebagai pembuatan batako dan sebagai tanah urug (Andriati, 1989). PDAM dapat membuat dan mengoperasikan unit tambahan. Unit tersebut terdiri atas reaktor elektrolisis dengan membran AEM, tangki asidifikasi, tangki penampungan, filtrat hasil asidifikasi dengan *scale up factor*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Hasil karakterisasi lumpur alum PDAM adalah: kadar air $99,08 \pm 0,69\%$, alkalinitas $45,83 \pm 7,22$ mg/L HCO_3 , pH $7,87 \pm 0,085$, BOD $1082,47 \pm 130,00$ mg O_2 /L, COD $9666,7 \pm 1154,70$ mg O_2 /L, TVS $1.733 \pm 40,623$ mg/L, SVI $114,15 \pm 19,71$ mL/g, kadar Al 126.100 mg/kg.
2. Kuat arus listrik optimum yang diperoleh pada penelitian ini sebesar 300 mA. Persentasi logam Al yang dapat diperoleh kembali sebesar 74,70%.
3. Nilai pH optimum pada proses elektrolisis dengan membran adalah 3.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini adalah:

1. Pengolahan sebelum proses asidifikasi terhadap lumpur alum kering untuk menghilangkan zat organik dengan pembakaran pada suhu 550°C .
2. Perbandingan penelitian dilakukan terhadap proses elektrolisis dengan dan tanpa membran. Hasil *recovery* aluminium yang optimum terdapat pada penelitian dengan membran penukar anion.
3. Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, terdapat persentase logam Fe yang tinggi dalam endapan pada katoda perak. Perlu adanya penelitian selanjutnya untuk pemurnian *recovery* aluminium dengan proses elektrodialisis.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Abhilash, T. N. dan Mansoor, A. M. (2015). The Reuse of Water Treatment Sludge as a Coagulant for Posttreatment of UASB Reactor Treating Urban Wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 96, 272-281.
- Acar, Y.B. dan Alshawabkeh, A.N. (1993). Principles of Electrokinetics Remediation. *Environmental Science and Technology*, 27(13), 2638-2647.
- Ahmad, T., Ahmad, K., dan Alam, M. (2016). Characterization of Water Treatment Plant's Sludge and its Safe Disposal Options. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 950 – 955.
- Ahmad, T., Ahmad, K., dan Alam, M. (2016). Sustainable Management of Water Treatment Sludge Through 3'R' Concept. *Journal of Cleaner Production*, 124, 1–13.
- Andriati, D. (1989). *Studi Pemanfaatan Langsung Lumpur dari Instalasi Penjernihan Air Minum Ngagel II untuk Tanah Pertanian dan Tanah Urug*. Tugas Akhir. Program Studi Teknik Penyehatan FTSP-ITS. Surabaya.
- Anglada, A., Urtiaga, A., Ortiz, I., dan Mantzavinos, D. (2011). Boron-doped Diamond Anodic Treatment of Landfill Leachate: Evaluation of Operating Variables and Formation of Oxidation By-products. *Water Research*, 45, 828-838
- APHA, AWWA, WPFC. 1998. *Standard methods for examination of water and wastewater*. Washington DC: APHA, AWWA, WPFC.
- APHA, AWWA, WPFC. 2012. *Standard methods for examination of water and wastewater*. Washington DC: APHA, AWWA, WPFC.
- Atmaca, E. (2009). Treatment of Landfill Leachate by Using Electro-Fenton Method. *Journal Hazard Mater*, 163, 109 – 114.
- AWWA. (1995). *Electrodialysis and Electrodialysis Reversal*. Washington DC: American Water Works Association.
- Az-Zahra, S., Rahmawati, Wardhani, E. (2014). Karakteristik Kualitas Air Baku dan Lumpur sebagai Dasar Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur IPA Badak Singa PDAM Tirtawening Kota Bandung. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 2 (2), 1-10.

- Baiju, A., Gandhimati, R., Ramesh, S.T., dan Nidheesh, P.V. (2017). Combined Heterogenous Electro-Fenton and Biological Process for the Treatment of Stabilized Landfill Leachate. *Journal of Environmental Management*, 210, 328 – 337.
- Bartoszewski, K. 1996. *Waste water treatment and waste water recovery. Renewal of water. Theoretical basis of processes*. Wrocław: PW.
- Basuki, K.T., Muhadi, dan Sudibyo. (2009). Pengaruh pH dan Tegangan pada Pembuatan Serbuk Itrium dari Konsentrasi Itrium Hasil Proses Pasir Senotim dengan Elektrolisis. *Seminar Nasional V*, 543 – 547.
- Benvenuti, T., Rodrigues, M.A.S, Bernadea, A.M, Zoppas-Ferreira, J. (2016). Closing the Loop in the Electroplating Industry by Electrodialysis. *Journal of Cleaner Production*, 155, 130 – 138.
- Bi, S., An, S., Tang, W., Yang, M., Qian, H., dan Wang, J. (2001). Modeling the distribution of aluminum speciation in acid soil solution equilibria with the mineral phase alunite. *Environ. Geol.* 41, 25-36.
- Boaventura, A.R., Duarte, A.S., dan Almeida, M.F. (2000). Aluminium Recovery from Water Treatment Sludge. *International Conference Water Supply and Water Quality*, 4.
- Brewster, T.E., Ward, A.J., Mehta, C.M., Radjenovic, J., Barstone. (2016). A Mechanistic Model for the Electrochemical Nutrient Recovery Systems. *Water Res.*, 110, 202-210.
- Chang, R. 2004. *Kimia Dasar – Konsep Konsep Inti*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Cundari, L., Supriyatna, E., dan Samhudi, H. (2016). Pengaruh Waktu Kontak Dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Recovery Aluminium Pada Asidifikasi Sludge Keluaran Water Treatment. *Jurnal Teknik Kimia*, 22 (2).
- Dahhou, M. (2017). *Journal of Taibah University for Science*, 749–758.
- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran (Hubungan antara Toksikologi Senyawa Logam)*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Dassanayake, K.B., Jayasinghe, G. Y., dan Surapaneni, A. (2015). *A Review on Alum Sludge with Special Reference to*

- Agricultural Applications and Future Challenges. Waste Management Journal*, 38, 321-335.
- Day, R.A. dan Underwood, A.L. 1993. *Analisis Kimia Kuantitatif Edisi V*. Jakarta: Erlangga.
- Dewi, I.G.A.K.S.P. (2009). Kemampuan Adsorpsi Batu Pasir yang dilapisi Besi Oksida (Fe_2O_3) untuk Menurunkan Kadar Pb dalam Larutan. *Jurnal Bumi Lestari*, 9(2), 254 – 262.
- Downs, A.J. 1993. *Chemistry of Aluminium, Gallium, Indium and Thallium*. London: Blackie Academic and Professional.
- Driscoll, C.T., dan Schecher, W.D. (1990). The chemistry of aluminum in the environment. *Environ. Geochem. Health*. 12, 28-49.
- Evuti, A.M. dan Lawal, M. (2011). *Recovery of coagulants from water works sludge: A review*. 2(6), 410-417.
- Ewida, K.T., Abdo, M.S.E., dan Youssef Y.M. (2008). *Recovery of Alum from Wasted Sludge Produced from Water Treatment Plants*, 28, 1205–1216.
- Gaoa, B.Y., Hahn b, H.H., dan Hoffmann, E. (2002). Evaluation of Aluminum-Silicate Polymer Composite as a Coagulant for Water Treatment. *Water Research*, 36, 3573–3581.
- Guyton, A. C. dan Hall, J. E. 1996. *Textbook of Medical Physiology*. Philadelphia: W.B. Saunders Company.
- Hamed, J.T. dan Bhadra, A. (1997). Influence of current density and pH on electrokinetics. *J. Hazard. Mater.* 55, 279-294.
- Hartono, A.J. dan Kaneko, T. 1992. *Mengenal Pelapisan Logam (Elektroplating)*. Andi Offset: Yogyakarta.
- Hashim, M.A., Mukhopadhyay, S., Sahu, J.N., dan Sengupta, B. (2011). Remediation technologies for heavy metal contaminated groundwater. *J. Environ. Manag.*, 92, 2355-2388.
- Hendayana, S. 2006. *Kimia Pemisahan Metode Kromatografi dan Elektroforesis Modern*. Bandung: Remaja Rosdakarya Offset.
- Huang, C., Xu, T., Zhang, Y., Xue, Y., dan Chen, G. (2007). Application of Electrodialysis to The Production of Organic Acids: State-of-the-art and Recent Developments. *Journal of Membrane Science*, 288, 1-12.
- Hutagalung, H.P. (1984). Logam Berat dalam Lingkungan Laut. *Oseana*, 1, 11-20.

- Irfan. (2007). *Recovery Alum dari Lumpur Accelator Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Gunung Pangilun Padang*. Fakultas Teknik Universitas Andalas.
- Jiang, Q.J. dan Lloyd, B. (2002). Progress in the Development and Use of Ferrate (VI) Salt as an Oxidant and Coagulant for Water and Wastewater Treatment. *Water research journal*, 36 (6), 197-1408.
- Jimenez, B., Martinez, M., Vaca, M. (2007). *Alum recovery and Wastewater Sludge Stabilization with Sulfuric Acid*.
- Johari, J.M.C. 2004. *Kimia untuk SMA Kelas X*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Joshi, S. dan Shrivastava, K. D. (2011). Recovery of Alum Coagulant from Water Treatment Plant Sludge: A Greener Approach for Water Purification. *International Journal of Advanced Computer Research* 1(2), 101-102.
- Kawamura, S. 1991. *Integrated Design of Water Treatment Facilities*. USA: John Wiley and Sons, Inc.
- Lando, J. B. dan Maron S.H. 1974. *Fundamentals of Physical Chemistry*. USA: Macmillan Publishing Co.Inc.
- Lee, H.H. dan Yang, J.W. (2000). A new method to control electrolytes pH by circulation system in electrokinetic soil remediation. *J. Hazard. Mater.* 77, 227-240.
- Li, W. dan Johnson, C.E. (2016). *Relationships among pH, aluminum solubility and aluminum complexation with organic matter in acid forest soils of the Northeastern United States*. *Geoderma*, 271, 234-242.
- Louise, I.S.Y. (2010). Perilaku Sel Elektrolisis Air dengan Elektroda Stainless Steel. *Prosiding Seminar Nasional dan Pendidikan Kimia 2010*, ISBN : 978-979-98117-7-6.
- Lukasiewicz, E. (2016). *Post-coagulation sludge management for water and wastewater treatment with focus on limiting its impact on the environment*. 16 (4), 831-841.
- Marwati, S., Padmaningrum, R.T., dan Marfuatun. (2009). Pemanfaatan Ion Logam Berat Tembaga (II), Timbal (II) dan Seng (II) dalam Limbah Cair Industri Elektroplating untuk Pelapisan Logam Besi. *Jurnal Penelitian Saintek*, 14 (1), 17 – 40.
- Masduqi, A. dan Assomad, A.F. 2016. *Operasi dan Proses Pengolahan Air*. Surabaya: ITS Press.

- Maulanie, E. dan Nurjti, C. (2002). Pengendalian Banjir lewat Pemanfaatan Limbah Lumpur IPAM yang Dibuang Langsung ke Sungai. *Prosiding Seminar Nasional Insentif Ekonomi dan Teknologi dalam Pembangunan Berkelanjutan*. Puslit KLH ITS. Surabaya.
- Mazur, E.B., Widlak, M., Ciupa, T. (2001). A Speciation Analysis of Aluminium in the River Silnica. *Polish Journal of Environmental Studies*, 10 (4), 263-267.
- Moerdiyanti, M., Zahara, T. A., Jati, D.R. (2002). Penggunaan Tawas Cair Recovery dari Limbah Padat Lumpur PDAM Kota Pontianak Sebagai Koagulan untuk Pengolahan Air Bersih. *Jurnal Mahasiswa Teknik Lingkungan UNTAN*, 1 (1).
- Nair, A.T. dan M.M. Ahammed. (2014). Coagulant Recovery from Water Treatment Sludge and Reuse in Post Treatment of UASB Reactr Effluent Treating Municipal Wastewater. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 21, 10407 – 10418.
- Nurcahyo, W., Sumantri, I., dan Kurnisari, L. (2014). Pembuatan Aluminium Sulfat dari Clay. *Jurnal Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim*, 10 (1), 29 – 33.
- Panswad, T. dan Chamnan P. (1992). *Journal of water supply*, 10(4), 159-167.
- Parsons, S. A. dan Daniels, S. J. (1999). The Use of Recovered Coagulants in Wastewater Treatment. *Environmental Technology*, 20(9), 979–986.
- Peng, G., Tian, G., Liu, J., Bao, Q. dan Ling, Z. (2011). Removal of heavy metals from sewage sludge with a combination of bioleaching and electrokinetic remediation technology. *Desalination*, 271, 100-104.
- Prastika, W., Hastuti, R., dan Haris, A. (2009). Pengaruh Ligan KCN pada Proses Elektrolisis untuk Pengambilan Logam Perak dari Limbah Cair Fotografi. *Jurnal Jurusan Kimia FMIPA UNDIP*.
- Prayitno dan Sukosrono. (2006). Sistem Reduktor Elektromagnetik untuk Penurunan Kadar Ag dalam Limbah Cair. *Prosiding PPI – PDIPTN*, 95 -102.
- Primadipta, I. W. dan Titah, H. S. (2017). *Bioremediasi Lumpur Alum menggunakan Pseudomonas fluorescens dan Aspergillus niger dengan Penambahan Serbuk Gergaji*

- sebagai *Bulking Agent*. Surabaya: Departemen Teknik Lingkungan, FTSP-ITS
- Purwanto dan Huda, S. 2005. *Teknologi Industri Elektroplating*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Qasim, S.R., Motley, E.M., dan Zhu, G. 2000. *Water Work Engineering: Planning, Design and Operation*. Texas: Prentice Hall PTR.
- Rahmawati, F., Wahyuningsih, S., dan Handayani, S. (2013). Modifikasi permukaan lapis tipis semikonduktor TiO_2 bersubstrat grafit dengan elektrodeposisi Cu. *Jurnal Jurusan Kimia Universitas Sebelas Maret*.
- Reed, B.E., Carriere, P.C., Thompson, J.C., Hatfield, J.H. (1996). Electronic (E) remediation of a contaminated soil at several Pb concentrations and applied voltages. *J. Soil Contam.* 5, 95-120
- Reiger, P. H. 1994. *Electrochemistry*. New York: Chapman and Hall.
- Riyanto. 2013. *Elektrokimia dan Aplikasinya*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Sarto. (1995). *Pengolahan Limbah Cair Logam Tembaga dengan Proses Elektrokimia secara Sinambung*. Laboratorium Penelitian FT UGM, Yogyakarta.
- Saunders, M. F. dan Roeder, M. L. (1991). *Coagulant recovery: A critical assessment*. Georgia Institute of Technology.
- Sawyer, C. N., McCarty, P. L., Parkin, G. 1996. *Chemistry for Environmental Engineering*. New York: McGraw – Hill.
- Sengupta, A. K., dan Prakash, P. (2002). *Process for Selective Coagulant Recovery from Water Treatment Plant Sludge*. US Patent no. 6,495,047 B1, United States Patent Office.
- Seri, O. dan Itoh, Y. (2016). Differentiating polarization curve technique for determining the exchange current density of hydrogen electrode reaction. *Electrochimica Acta*.
- Setyawan, H. 2013. *Kimia Fisika*. Surabaya: ITS Press.
- Sopiah, S. (2008). *Analisis Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Proses Elektrolisis Larutan CuSO_4 sebagai Bahan Kajian dalam Pembuatan dan Pembelajaran Elektronik*. Tesis. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Strathmann, H. (2010). Electrodialysis, a Mature Technology with a Multitude of New Applications. *Desalination*, 264 (3), 268-

- Suherman dan Budiyo. (2003). Upaya Minimalisasi Kebutuhan Koagulan di PDAM. *Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia*.
- Topayung, D. (2011). Pengaruh Arus Listrik dan Waktu Proses terhadap Ketebalan dan Massa Ketebalan dan Massa Lapisan yang Terbentuk pada Proses Electroplating Pelat Baja. *Jurnal Ilmiah Sains*, 11 (1), 97 – 101.
- Treatment of Landfill Leachate. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 21, 10900-10907.
- Trihadiningrum, Y. 2016. *Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)*. Yogyakarta: Teknosain.
- US EPA. 1992. *Environmental Protection Agency*. United States.
- Valero, F., Barcelo, A., dan Arbs, R. (2011). *Electrodialysis Technology Theory and Applications Desalination Trends and Technology*. Croatia: In Tech.
- Vogel, A.I. 1990. *Vogel: Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*. London: Longman Group Limited.
- Wahyudin, W. (2001). *Uji Kelayakan Recovery Alum pada Lumpur Hasil Proses Koagulasi-Flokulasi di IPAM Ngagel III Surabaya*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan Surabaya.
- Wang, J.Y., Zhang, D.S., Stabnikova, O., dan Tay, J.H. (2005). Evaluation of electrokinetic removal of heavy metals from sewage sludge. *J. Hazard. Mater*, 124, 139-146.
- Weber-Scanell, P.K. dan Duffy, L.K. (2007). Effects of Total Dissolved Solids on Aquatic Organisms. *American Journal of Environmental Sciences*, 3 (1), 1-6.
- Wentz, R.J. 1995. *Hazardous Wastes: Sources, Pathways, Receptors*. Toronto: John Wileys and Sons Inc.
- Wicakso, D. R. (2011). *Sintesis Biodiesel dari Crude Palm Oil dengan Katalis Alumina Hasil Recovery Limbah Padat Lumpur PDAM Intan Banjar*. 12 (01).
- Widayatno, T., Gupita, L.T., Imaswati, S., Novitasari, P. (2016). Recovery Logam Perak dari Limbah Cair Bekas Pencucian Foto Rontgen: Kraterisasi Elektrokimia. *Siposium Nasional RAPI XV*, ISSN 1412-9612.
- Wulansari, R., Nuryanto, R., dan Suyati, L. (2013). *Pengaruh Elektroda Grafit-Grafit, Aluminium-Grafit dan Seng-Grafit*

pada Elektrolisis Kobalt (Co^{2+}) dengan Pengotor Ion Seng (Zn^{2+}). Jurnal Teknik Kimia Universitas Diponegoro.

Xu, H., Ding, M., Shen, K., Cui, J. dan Chen, W. (2017). Removal of aluminum from drinking water treatment sludge using vacuum electrokinetic technology. *Chemosphere*, 173, 404-410.

Zhao, Y.Q., Babatunde, A.O., Hu, Y.S., Kumar, J.L.G., Zhao, X.H. (2011). Pilot Field-Scale Demonstration of a Novel Alum Sludge-Based Constructed Wetland System for Enhanced Wastewater Treatment. *Process Biochem.* 46 (1), 278–283.

LAMPIRAN A PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM

A. Analisis Kadar Air

Alat dan Bahan:

1. Sampling lumpur alum unit *clearator* PDAM
2. Cawan Porselain

Prosedur Analisis:

1. Cawan porselain dimasukkan dalam oven suhu 105°C selama 1 jam
2. Cawan porselain dimasukkan dalam desikator selama 15 menit
3. Sampling lumpur alum dimasukkan dalam cawan porselain dan ditimbang dngan neraca analitis (A)
4. Sampling lumpur alum dimasukkan dalam cawan porselain dan dioven selama 24 jam
5. Lumpur kering didesikator selama 15 menit
6. Lumpur alum dan cawan ditimbang dengan neraca analitis (B)
7. Perhitungan % kadar air dengan rumus :
$$\frac{A-B}{A} \times 100\%$$
8. Lumpur alum disimpan

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{A-B}{A} \times 100\%$$

A = (berat cawan porselen + lumpur alum segar 20 mL) –
berat cawan porselen kosong (g)

B = (berat cawan porselen + lumpur alum segar 20 mL yang
telah dioven 24 jam) – berat cawan porselen kosong (g)

B. Analisis pH

Alat dan Bahan:

1. Lumpur alum kering
2. Lumpur alum hasil sampling unit *clearator*
 3. aquadest
 4. pH meter
 5. Larutan pH 4, 7 dan 10

Prosedur Analisis:

1. Lumpur alum kering dilarutkan dengan aquadest secukupnya
2. Dihomogenkan dengan *magnetic stirer*
3. Kalibrasi pH meter dengan larutan pH 4, 7 dan 9
4. pH meter dibersihkan dengan aquadest dan dikeringkan dengan tissue
5. pH meter dicelupkan kedalam sampel lumpur kering yang telah dilarutkan dan lumpur alum hasil sampling unit *clearator*
6. Pembacaan angka pH secara digital

C. Analisis *Biological Oxygen Demand* (BOD)**Alat dan Bahan:**

1. Larutan buffer fosfat
2. Larutan magnesium sulfat
3. Larutan kalium klorida
4. Larutan feri klorida
5. Bubuk inhibitor nitrifikasi
6. Larutan mangan sulfat
7. Larutan pereaksi oksigen
8. Indikator amilum
9. Asam sulfat
10. Larutan standar Natrium Tiosulfat
11. Benih
12. Aerator
13. Botol winkler 300 mL
14. Botol winkler 150 mL
15. Labu Pengencer 500 mL
16. Pipet ukur
17. Erlenmeyer 250 mL
18. Buret 25 mL
19. Lumpur kering alum yang telah dikeringkan
20. Lumpur alum hasil *sampling* unit *clearator*

Prosedur Analisis:

- a. Pembuatan air pengencer
 - i. Tambahkan 1 mL larutan buffer fosfat per liter air
 - ii. Tambahkan 1 mL larutan Magnesium Sulfat per liter air

- iii. Tambahkan 1 mL Kalium Klorida per L air
- iv. Tambahkan 1 mL Feri klorida per L air
- v. Tambahkan 10 mg bubuk inhibitor L air
- vi. Aerasi minimal 2 jam
- vii. Tambahkan 1 mL larutan benih per liter air

b. Prosedur BOD dengan winkler

- i. Menentukan angka pengenceran berdasarkan nilai COD

$$P = \frac{\text{angka COD}}{3 \text{ atau } 5}$$

- ii. Tuang sampel lumpur basah di labu pengencer 500 mL berdasarkan angka pengenceran dan tambahkan air pengencer hingga batas labu (500 mL).
- iii. Tuang sampel lumpur kering, yang telah dilarutkan sesuai dengan kadar air, ke dalam labu pengencer 500 mL berdasarkan angka pengenceran dan tambahkan air pengencer hingga batas labu (500 mL).
- iv. Tuang air pengencer ke dalam botol winkler 300 mL dan 150 mL sebagai blanko.
- v. Tuang masing – masing lumpur basah maupun kering yang terdapat dalam labu pengencer ke dalam botol winkler 300 mL dan 150 mL.
- vi. Masukkan botol winkler 300 mL berisi blanko dan lumpur ke dalam inkubator 20°C.
- vii. Sampel lumpur dan blanko yang terdapat di botol winkler 150 mL dianalisis oksigen terlarunya sebagai berikut:
 - 1. Tambahkan 1 mL larutan Mangan Sulfat
 - 2. Tambahkan 1 mL larutan Pereaksi Oksigen
 - 3. Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udara, lalu dibalikkan beberapa kali.
 - 4. Biarkan gumpalan mengendap selama 5 – 10 menit.
 - 5. Tambahkan 1 mL asam sulfat pekat
 - 6. Tuang 100 mL larutan ke erlenmeyer 250 mL
 - 7. Tambahkan 3-4 tetes indikator amilum hingga warna biru kehitaman
 - 8. Titrasi dengan Natrium Tiosulfat 0,0125 N hingga warna biru kehitaman hilang

- viii. Setelah 5 hari, analisis kedua sampel lumpur dalam botol winkler 300 mL dengan analisis oksigen terlarut.
- ix. Hitung oksigen terlarut dan BOD dengan rumus sebagai berikut:

$$OT \text{ (mg O}_2 \text{ / L)} = \frac{a \times N \times 8000}{100 \text{ mL}}$$

$$BOD_5^{20} \text{ (mg / L)} = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)] \times (1 - P)}{P}$$

$$P = \frac{mL \text{ sampel}}{volume \text{ hasil pengenceran (500 mL)}}$$

D. Analisis *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Pembuatan reagen

1. Larutan $K_2Cr_2O_7$ 0,1 N

- Timbang 4,9036 gram $K_2Cr_2O_7$ yang sebelumnya di oven selama 24 jam
- Dilarutkan dengan aquades hingga 1000 mL menggunakan labu pengencer 1 L

2. Larutan Ferro Amonium Sulfat (FAS) 0,1 N

- Timbang 39,2 gram $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ kemudian ditambahkan dengan 8 mL H_2SO_4 pekat
- Dilarutkan dengan aquades hingga 1000 mL dengan menggunakan labu pengencer 1 L

3. Larutan Campuran Asam (Ag_2SO_4)

- Timbang 10 gram Ag_2SO_4 dan dilarutkan dengan 1 L H_2SO_4

4. Larutan Indikator Ferroin

- Timbang 1,485 gram Orthophenanthroline dan 0,695 gram $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ditambahkan aquades hingga batas dengan labu pengencer 100 mL

Prosedur Analisis

Analisis COD menggunakan metode *closed reflux titrimetric* sebagai berikut:

1. Disiapkan sampel yang akan dianalisis COD
2. Diambil 1 mL kemudian diencerkan hingga 5 kali, diambil 1 mL sampel dimasukkan ke tabung COD
3. Diambil 1 mL aquades ke tabung COD sebagai blanko

4. Ditambahkan larutan $K_2Cr_2O_7$ 1,5 mL
5. Ditambahkan larutan Ag_2SO_4 3,5 mL
6. Tabung COD diletakkan pada rak tabung COD dan dipanaskan diatas kompor listrik selama 2 jam
7. Setelah dipanaskan, didinginkan kemudian dipindahkan ke dalam erlenmeyer
8. Ditambahkan indikator ferroin sebanyak 3-4 tetes hingga berwarna hijau
9. Kemudian dititrasi dengan larutan FAS 0,05N hingga berubah menjadi merah bata
10. Perhitungan nilai COD dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$COD \text{ (mg/L)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000 \times P}{\text{volume sampel}}$$

A = mL FAS titrasi blanko

B = mL FAS titrasi sampel

N = normalitas larutan FAS

P = nilai pengenceran

E. **Total Solids (TS)**

Alat dan Bahan:

1. Sampling lumpur alum unit *clearator* PDAM
2. Cawan Porselain

Prosedur Analisis:

1. Cawan dimasukkan furnace 550°C selama 1 jam, setelah itu dioven 105°C selama 15 menit.
2. Cawan didinginkan dalam desikator selama 15 menit.
3. Cawan ditimbang dengan neraca analitis (a mg).
4. Lumpur alum basah sebanyak 25 mL ke dalam cawan yang telah ditimbang (c mL)
5. Lumpur alum dikering dalam oven 105°C selama 24 jam.
6. Dinginkan dalam desikator selama 15 menit.
7. Timbang dengan neraca analitis selama (b mg).
8. Hitung jumlah zat padat total dengan rumus :

$$\text{Zat padat total (mg/L)} = \frac{(b-a) \times 1000 \times 1000}{c}$$

a = cawan kosong setelah difurnace 550°C dan dioven 105°C

b = cawan hasil residu setelah dioven 105°C

c = volume sampel (mL)

F. Total Volatile Solids (TVS) dan Total Fixed Solids (TFS)

Alat dan Bahan:

1. Sampling lumpur alum unit *clearator* PDAM
2. Cawan Porselain

Prosedur Analisis:

1. Cawan hasil residu dari analisis zat padat total dibakar dalam furnace 550°C selama 1 jam, setelah itu dioven 105°C selama 15 menit.
2. Cawan didinginkan dalam desikator selama 15 menit.
3. Cawan ditimbang dengan neraca analitis (d mg).
4. Hitung jumlah zat padat total organik dan inorganik sebagai berikut:

$$\text{Zat padat organik (mg/L)} = \frac{(b-d) \times 1000 \times 1000}{c}$$

$$\text{Zat padat inorganik (mg/L)} = \frac{(d-a) \times 1000 \times 1000}{c}$$

c = berat cawan dan residu setelah pembakaran 550°C

G. Total Suspended Solids (TSS)

Alat dan Bahan:

1. Sampling lumpur alum unit *clearator* PDAM
2. Cawan Porselain

Prosedur Analisis:

1. Cawan porselain dibakar dalam furnace 550°C selama 1 jam, setelah itu dioven 105°C selama 15 menit.
2. Kertas saring dikeringkan dengan suhu 105°C dan didesikator selama 15 menit
3. Cawan dan kertas saring ditimbang dengan neraca analitis (e mg)
4. Letakkan kertas saring yang telah ditimbang pada vacuum filter
5. Tuangkan 25 mL sampel lumpur alum unit *clearator* pada kertas saring yang dipasang pada vacuum filter. Filtrat yang melewati kertas saring diukur volumenya (g mL).
6. Saring sampel lumpur alum hingga kering atau airnya habis.

7. Kertas saring dan cawan porselain dikeringkan dalam oven 105°C selama 1 jam.
8. Dinginkan dalam desikator selama 15 menit.
9. Timbang dengan neraca analitis (f mg)
10. Hitung jumlah zat padat tersuspensi

$$\text{Zat padat total tersuspensi (mg/L)} = \frac{(f-e) \times 1000 \times 1000}{g}$$

e = Cawan dan kertas saring ditimbang dengan neraca analitis

f = cawan dan residu setelah dioven 105°C

g = volume sampel (mL)

H. **Total Dissolved Solids (TDS)**

Alat dan Bahan:

1. Sampling lumpur alum unit *clearator* PDAM
2. Cawan Porselain

Prosedur Analisis:

1. Cawan porselain dibakar dalam furnace 550°C selama 1 jam, setelah itu dioven 105°C selama 15 menit.
2. Timbang cawan dengan neraca analitis (i mg)
3. Filtrat hasil analisis zat padat tersuspensi (j mL) dituangkan dalam cawan porselain
4. Cawan dan filtrat dikeringkan dengan suhu 105°C selama 24 jam.
5. Dinginkan di dalam desikator selama 15 menit.
6. Timbang dengan neraca analitis (k mg).

$$\text{Zat padat terlarut (mg/L)} = \frac{(k-i) \times 1000 \times 1000}{j}$$

I. **Asidifikasi**

Alat dan Bahan:

1. Lumpur alum kering yang telah dikeringkan
2. Aquades
3. Asam sulfat
4. *Magnetic stirrer*
5. *Beaker glass* 1 L

6. Pipet ukur
7. Propipet
8. pH meter

Prosedur Analisis:

1. Lumpur alum kering sebanyak 200 g dilarutkan dengan aquades hingga 1 L
2. Pengukuran pH awal dengan pH meter
3. Perhitungan volume asam sulfat untuk pH 2, 3 dan 4

$$N_{\text{total}} = \frac{(V1 \times N1) + (V2 \times N2)}{(V1 + V2)}$$

4. Proses homogenisasi dengan *magnetic stirrer* selama 2 jam kecepaan 300 rpm
5. Sentrifugasi selama 20 menit kecepatan 3000 rpm
6. Penyaringan supernatan dengan menggunakan kertas saring 10 μm

J. Al, Fe, Pb, Cr, Cu

Alat dan Bahan:

1. Lumpur alum yang telah dikeringkan
2. Lumpur alum hasil sampling unit *clearator*

Prosedur Analisis:

1. Lumpur kering dianalisis dengan XRF untuk karakterisasi kadar Al, Fe, Pb, Cr dan Cu
2. Lumpur alum hasil sampling unit *clearator*

K. Sludge Volume Index (SVI)

Alat dan Bahan:

1. Lumpur alum hasil sampling unit *clearator*
2. *Imhoff cone*

Prosedur Analisis:

1. Lumpur alum hasil sampling unit *clearator* dituangkan ke dalam *imhoff cone* sebesar 1 L
2. Lumpur dibiarkan selama 30 menit
3. Pengukuran nilai TSS lumpur

4. Pengukuran nilai SVI dengan rumus:

$$SVI = \frac{\text{volume sludge selama 30 menit } \left(\frac{mL}{L}\right)}{TSS \left(\frac{mg}{L}\right)} \times 1000$$

L. Alkalinitas

Alat dan Bahan:

1. Lumpur alum yang telah dikeringkan
2. Lumpur alum hasil sampling unit *clearator*
3. aquades
4. pH meter
5. HCl 0,1 N

Prosedur Analisis:

1. Lumpur kering dilarutkan dengan aquades sesuai dengan kadar air lumpur segar dari unit *clearator*.
2. Pengukuran nilai pH awal dengan pH meter
3. Penambahan HCl hingga nilai pH 5,1
4. Perhitungan nilai alkalinitas dengan rumus:

$$\text{Alkalinitas} = \frac{A \times N}{mL \text{ sampel}} \times 50.000$$

A = mL asam yang digunakan

N = normalitas standar yang digunakan

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN B DATA HASIL ANALISIS

Tabel B. 1 Hasil Karakterisasi Lumpur Alum Unit Clearator PDAM

No	Parameter	Lumpur kering	Satuan	Lumpur hasil sampling	Satuan	Metode Pengujian
1	Kadar air	-		99,11	%	Gravimetri
		-		98,37		
		-		99,75		
		-		99,08 ± 0,690715		
2	Alkalinitas	54.347,83	mg/kg HCO ₃	62,50	mg/L HCO ₃	Titrimetri
		54.347,83		75,00		
		40.760,87		75,00		
		49.818,84 ± 7.844,43		70,83 ± 7,22		
3	pH	7,79	-	7,47	-	Voltmetri
		7,87		7,46		
		7,96		7,47		
		7,87 ± 0,08		7,47 ± 0,01		

No	Parameter	Lumpur kering	Satuan	Lumpur hasil sampling	Satuan	Metode Pengujian
4	BOD	999,20	mg O ₂ /kg	1.186,55	mgO ₂ /L	5 days BOD test
		874,30		936,75		
		437,15		1.124,10		
		83.719,20 ± 295,12		1082,47 ± 130,00		
5	COD	7.000,00	mg O ₂ /kg	11.000,00	mgO ₂ /L	Close Reflux - Titrimetry
		9.000,00		9.000,00		
		5.000,00		9.000,00		
		760.869,60 ± 2000		9.666,7 ± 1154,70		
6	Total Solids	-	-	12.330,00	mg/L	Gravimetri
				12.816,70		
				12.940,00		
				12.695,57 ± 322,53		
7	Total Volatile Solids	-	-	1.706,70	mg/L	Gravimetri
				1.780,00		

No	Parameter	Lumpur kering	Satuan	Lumpur hasil sampling	Satuan	Metode Pengujian
				1.713,00		
				1.733 ± 40,62		
8	<i>Total Suspended Solids</i>	-	-	12.300	mg/L	Gravimetri
				12.393		
				12.840		
				12.511 ± 288,691		
9	<i>Total Dissolved Solids</i>	-	-	346,42	mg/L	Gravimetri
				370,37		
				341,48		
				340 ± 6,529		
10	<i>Total Fixed Solids</i>	-	-	10.623,33	mg/L	Gravimetri
				11.036,66		
				11.226,00		
				10.962 ± 308,1943		
11	<i>Sludge Volume Index</i>	-	-	100,80	mL/g	<i>settleability test</i>
				136,80		

No	Parameter	Lumpur kering	Satuan	Lumpur hasil sampling	Satuan	Metode Pengujian
				104,85		
				114,15 \pm 19,71		
12	Al	126.100	mg/kg			X-Ray Fluorescence (XRF)
13	Fe	55.400	mg/kg			X-Ray Fluorescence (XRF)
14	Cu	59	mg/kg			X-Ray Fluorescence (XRF)
15	Cr	23	mg/kg			X-Ray Fluorescence (XRF)
16	Si	205.600	mg/kg			X-Ray Fluorescence (XRF)

Tabel B. 2 Kadar Logam dalam Sampel Lumpur Alum PDAM

No	Senyawa	%Berat	SD	Unsur	%Berat	SD
1	SiO ₂	44,18	0,25	Si	20,65	0,12
2	Al ₂ O ₃	23,48	0,21	Al	12,61	0,11
3	Fe ₂ O ₃	7,92	0,14	Fe	5,54	0,09
4	CaO	2,08	0,07	Ca	1,49	0,05
5	MgO	1,66	0,06	Mg	1,00	0,04
6	TiO ₂	0,66	0,033	Ti	0,396	0,020
7	K ₂ O	0,641	0,032	K	0,532	0,027
8	Na ₂ O	0,385	0,019	Na	0,286	0,014
9	SO ₃	0,331	0,017	Sx	0,133	0,007
10	P ₂ O ₅	0,320	0,016	Px	0,140	0,007
11	MnO ₂	0,209	0,010	Mn	0,132	0,007
12	V ₂ O ₅	0,0274	0,0014	V	0,0153	0,008
13	BaO	0,0239	0,0015	Ba	0,0214	0,0013
14	SrO	0,0184	0,0009	Sr	0,0156	0,0008
15	ZrO ₂	0,0178	0,0009	Zr	0,0132	0,0007
16	Cl	0,0174	0,0009	Cl	0,0174	0,0009
17	ZnO	0,0173	0,0009	Zn	0,0139	0,0007
18	CuO	0,0074	0,0007	Cu	0,0059	0,0005
19	MoO ₃	0,0055	0,0010	Mo	0,0037	0,0007
20	Rb ₂ O	0,0039	0,0002	Rb	0,0036	0,0002
21	Cr ₂ O ₃	0,0034	0,0008	Cr	0,0023	0,0006
22	Ga ₂ O ₃	0,0029	0,0004	Ga	0,0022	0,0003
23	Y ₂ O ₃	0,0023	0,0002	Y	0,0018	0,0002
24	CO ₃ O ₄	0,0023	0,0007	Co	0,0017	0,0005
25	NiO	0,0014	0,0006	Ni	0,0011	0,0005
26	Sc ₂ O ₃	0,0014	0,0006	Sc	0,0009	0,0003

Tabel B. 3 Tabel Uji Polarisasi Kuat Arus 0 - 500 mA

Menit ke	Tegangan Listrik (Volt)	Kuat Arus (mA)	pH	TDS (g/L)
0	0,0	0		
3	0,2	0		
6	0,4	0		
9	0,6	0		
12	0,8	0		
15	1,0	0		
18	1,2	0		
21	1,4	0		
24	1,6	9		
27	1,8	15	2,53	4,54
30	2,0	24		
33	2,2	38		
36	2,4	47		
39	2,6	61		
42	2,8	77	2,83	3,61
45	3,0	79		
48	3,2	96		
51	3,4	105		
54	3,6	119		
57	3,8	136	2,84	3,5
60	4,0	163		
63	4,2	197		
66	4,4	236		
69	4,6	253		
72	4,8	277	2,99	3,24
75	5,0	300		
78	5,2	318		

Menit ke	Tegangan Listrik (Volt)	Kuat Arus (mA)	pH	TDS (g/L)
81	5,4	328		
84	5,6	330		
87	5,8	320	3,03	1,56

Tabel B. 4 Tabel Uji Polarisasi Kuat Arus 500 - 1000 mA

Titik Sampling	Tegangan Listrik (Volt)	Kuat Arus Listrik (mA)	pH	TDS (g/L)
0	6	454		5,28
3	6,2	491		
6	6,4	525		
9	6,6	573		5,09
12	6,8	608		5,08
15	7	628		
18	7,2	661		
21	7,4	680		
24	7,6	733		5,04
27	7,8	759	2,53	4,94
30	8	782	2,57	4,79
33	8,2	814	2,65	
36	8,4	841	2,71	0,0144
39	8,6	879	2,71	
42	8,8	908	2,83	0,0112
45	9	933	2,84	
48	9,2	962		

Tabel B. 5 Proses Elektrolisis pH 2 Kuat Arus Listrik 100 mA

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL	SD	
0	2,00		4,57		9,14		2,00		2,49		4,98		3,2
	2,00		4,52		9,09		2,00		2,49		4,98		
	2,00		4,54		9,11		2,00		2,49		4,98		
	2,00	0,00	4,54	0,03	9,11	0,03	2,00	0,00	2,49	0,00	4,98	0,00	
1	2,07		4,01		8,05		1,96		2,56		5,10		3,2
	2,07		4,14		8,23		1,95		2,53		5,16		
	2,07		4,00		7,99		1,97		2,53		5,09		
	2,07	0,00	4,05	0,08	8,09	0,12	1,96	0,01	2,54	0,02	5,12	0,04	
2	2,16		3,78		7,52		1,92		3,22		6,47		3,3
	2,15		3,74		7,48		1,91		3,24		6,47		
	2,14		3,74		7,48		1,94		3,16		6,30		
	2,15	0,01	3,75	0,02	7,49	0,02	1,92	0,02	3,21	0,04	6,41	0,10	
3	2,29		3,34		6,61		1,84		4,09		8,23		3,4

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL	SD	
	2,24		3,31		6,67		1,80		3,49		6,77		
	2,27		3,30		6,57		1,75		3,44		6,87		
	2,27	0,03	3,32	0,02	6,62	0,05	1,80	0,05	3,67	0,36	7,29	0,82	
4	2,36		3,28		6,54		1,69		3,68		7,36		3,6
	2,38		3,24		6,50		1,68		3,69		7,38		
	2,37		3,08		6,13		1,66		4,27		8,52		
	2,37	0,01	3,20	0,11	6,39	0,23	1,68	0,02	3,88	0,34	7,75	0,66	
5	2,59		2,50		5,38		1,54		4,51		9,04		4,0
	2,53		2,50		7,32		1,52		4,01		7,99		
	2,56		2,49		6,71		1,56		3,94		7,84		
	2,56	0,03	2,50	0,01	6,47	0,99	1,54	0,02	4,15	0,31	8,29	0,65	
6	2,82		2,43		4,79		1,40		4,32		8,64		4,1
	2,80		2,42		4,86		1,44		4,34		8,66		
	2,81		2,41		4,77		1,47		4,33		8,67		

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL	SD	
	2,81	0,01	2,42	0,01	4,81	0,05	1,44	0,04	4,33	0,01	8,66	0,02	
7	3,11		2,43		4,81		1,39		4,55		9,08		4,1
	3,11		2,35		4,82		1,37		5,39		10,79		
	3,11		2,28		4,56		1,41		4,67		9,36		
	3,11	0,00	2,35	0,08	4,73	0,15	1,39	0,02	4,87	0,45	9,74	0,92	
8	3,95		1,99		3,97		1,30		4,94		9,76		4,1
	3,93		1,99		3,54		1,36		5,70		11,36		
	3,94		2,02		4,03		1,33		4,94		9,86		
	3,94	0,01	2,00	0,02	3,85	0,27	1,33	0,03	5,19	0,44	10,33	0,90	
9	4,27		1,96		3,98		1,28		5,91		11,80		4,2
	4,28		2,01		3,98		1,26		5,63		11,39		
	4,29		1,94		3,86		1,27		6,04		11,78		
	4,28	0,01	1,97	0,04	3,94	0,07	1,27	0,01	5,86	0,21	11,66	0,23	
10	4,50		1,93		3,87		1,19		5,87		11,99		4,4

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL	SD	
	4,47		1,93		3,87		1,20		5,90		11,98		
	4,49		1,93		3,87		1,18		5,92		11,92		
	4,49	0,02	1,93	0,00	3,87	0,00	1,19	0,01	5,90	0,03	11,96	0,04	

Tabel B. 6 Proses Elektrolisis pH 2 Kuat Arus Listrik 200 mA

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
0	2,00		4,26		8,56		2,10		4,26		8,49		4,4
	2,00		4,26		8,56		2,10		4,26		8,50		
	2,00		4,26		8,56		2,10		4,26		8,47		
	2,00	0,00	4,26	0,00	8,56	0,00	2,10	0,00	4,26	0,00	8,49	0,02	
1	2,16		4,12		8,14		2,05		4,80		9,61		4,8
	2,17		4,04		8,22		2,03		4,78		9,53		
	2,15		4,12		8,22		2,05		4,80		9,61		

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
	2,16	0,01	4,09	0,05	8,19	0,05	2,04	0,01	4,79	0,01	9,58	0,05	
2	2,34		3,30		6,58		1,92		5,28		10,62		4,9
	2,35		3,31		6,59		1,92		5,29		10,63		
	2,33		3,29		6,57		1,92		5,27		10,61		
	2,34	0,01	3,30	0,01	6,58	0,01	1,92	0,00	5,28	0,01	10,62	0,01	
3	2,65		3,31		5,53		1,85		5,80		11,72		5,1
	2,65		3,31		5,53		1,85		5,80		11,72		
	2,65		3,31		5,53		1,85		5,80		11,72		
	2,65	0,00	3,31	0,00	5,53	0,00	1,85	0,00	5,80	0,00	11,72	0,00	
4	3,04		3,35		6,72		1,80		6,91		13,81		5,4
	3,05		3,35		6,72		1,80		6,91		13,81		
	3,03		3,35		6,72		1,80		6,91		13,81		
	3,04	0,01	3,35	0,00	6,72	0,00	1,80	0,00	6,91	0,00	13,81	0,00	
5	3,68		2,18		4,32		1,74		7,26		14,62		5,6
	3,68		2,19		4,32		1,74		7,26		14,62		

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
	3,68		2,17		4,32		1,74		7,26		14,62		
	3,68	0,00	2,18	0,01	4,32	0,00	1,74	0,00	7,26	0,00	14,62	0,00	
6	3,95		2,05		4,07		1,65		7,36		14,91		5,6
	3,95		2,05		4,07		1,65		7,36		14,91		
	3,95		2,05		4,07		1,65		7,36		14,91		
	3,95	0,00	2,05	0,00	4,07	0,00	1,65	0,00	7,36	0,00	14,91	0,00	
7	4,03		1,98		5,53		1,60		9,08		18,33		5,6
	4,03		1,99		5,52		1,60		9,08		18,33		
	4,03		2,00		5,54		1,60		9,08		18,33		
	4,03	0,00	1,99	0,01	5,53	0,01	1,60	0,00	9,08	0,00	18,33	0,00	
8	4,22		1,86		3,70		1,59		8,43		16,90		5,6
	4,22		1,86		3,71		1,59		8,36		16,90		
	4,22		1,86		3,69		1,59		8,45		16,90		
	4,22	0,00	1,86	0,00	3,70	0,01	1,59	0,00	8,41	0,05	16,90	0,00	
9	4,22		1,77		3,59		1,54		8,86		17,84		5,7

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
10	4,22		1,77		3,59		1,54		8,86		17,84		5,8
	4,26		1,77		3,59		1,54		8,86		17,84		
	4,23	0,02	1,77	0,00	3,59	0,00	1,54	0,00	8,86	0,00	17,84	0,00	
	5,39		1,72		3,45		1,59		9,26		18,56		
10	5,39		1,72		3,45		1,59		9,26		18,56		5,8
	5,39		1,72		3,45		1,59		9,26		18,56		
	5,39		1,72		3,45		1,59		9,26		18,56		
	5,39	0,00	1,72	0,00	3,45	0,00	1,59	0,00	9,26	0,00	18,56	0,00	

Tabel B. 7 Proses Elektrolisis pH 2 Kuat Arus Listrik 300 mA

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
0	2,00		4,29		8,55		2,32		3,70		7,48		5,3
	2,00		4,29		8,55		2,32		3,70		7,48		
	2,00		4,29		8,55		2,32		3,70		7,48		

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
	2,00	0,00	4,29	0,00	8,55	0,00	2,32	0,00	3,70	0,00	7,48	0,00	
1	2,19		3,26		6,53		2,21		4,19		8,38		6,3
	2,19		3,21		6,43		2,20		4,13		8,27		
	2,19		3,21		6,43		2,20		4,13		8,38		
	2,19	0,00	3,23	0,03	6,46	0,06	2,20	0,01	4,15	0,03	8,34	0,06	
2	2,42		2,43		4,87		2,09		5,06		10,12		7,2
	2,46		2,46		4,93		2,09		5,06		9,94		
	2,50		2,46		4,93		2,09		4,97		9,96		
	2,46	0,04	2,45	0,02	4,91	0,03	2,09	0,00	5,03	0,05	10,01	0,10	
3	3,19		1,77		3,54		2,04		5,55		11,09		8,4
	3,21		1,75		3,51		1,99		5,53		11,06		
	3,23		1,75		3,54		2,04		5,54		11,08		
	3,21	0,02	1,76	0,01	3,53	0,02	2,02	0,03	5,54	0,01	11,08	0,02	
4	9,14		1,48		2,95		1,90		6,02		12,04		9,4

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
	9,15		1,48		2,96		1,90		6,20		12,40		
	9,15		1,48		2,96		1,90		6,11		12,22		
	9,15	0,01	1,48	0,00	2,96	0,01	1,90	0,00	6,11	0,09	12,22	0,18	
5	10,66		1,31		2,62		1,87		6,82		13,63		10,2
	10,10		1,29		2,57		1,90		6,69		13,38		
	10,38		1,30		2,60		1,89		6,76		13,51		
	10,38	0,28	1,30	0,01	2,60	0,03	1,89	0,02	6,76	0,07	13,51	0,13	
6	11,35		1,52		3,05		1,86		7,39		14,77		9,8
	11,31		1,54		3,08		1,85		7,27		14,54		
	11,33		1,53		3,07		1,86		7,33		14,66		
	11,33	0,02	1,53	0,01	3,07	0,02	1,86	0,01	7,33	0,06	14,66	0,12	
7	11,59		1,71		3,39		1,79		7,80		15,35		9,4
	11,60		1,76		3,52		1,80		7,69		15,40		
	11,60		1,74		3,46		1,80		7,75		15,38		

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
	11,60	0,01	1,74	0,02	3,46	0,07	1,80	0,01	7,75	0,06	15,38	0,03	
8	11,68		1,92		3,81		1,81		8,07		16,02		9,1
	11,67		1,91		3,97		1,77		7,89		15,92		
	11,68		1,92		3,89		1,79		7,98		15,97		
	11,68	0,01	1,92	0,00	3,89	0,08	1,79	0,02	7,98	0,09	15,97	0,05	
9	11,74		2,13		4,20		1,77		8,35		16,58		8,9
	11,80		2,14		4,29		1,73		8,26		16,69		
	11,77		2,13		4,25		1,75		8,31		16,64		
	11,77	0,03	2,13	0,01	4,25	0,05	1,75	0,02	8,31	0,05	16,64	0,06	
10	11,74		2,19		4,35		1,75		8,55		16,86		8,8
	11,77		2,41		4,82		1,72		8,43		16,83		
	11,76		2,30		4,59		1,74		8,49		16,85		
	11,76	0,02	2,30	0,11	4,59	0,24	1,74	0,02	8,49	0,06	16,85	0,02	

Tabel B. 8 Proses Elektrolisis pH 3 Kuat Arus Listrik 100 mA

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
0	3,00		2,74		5,50		3,00		2,89		5,67		4,0
	3,00		2,74		5,50		3,00		2,89		5,67		
	3,00		2,74		5,50		3,00		2,89		5,67		
	3,00	0,00	2,74	0,00	5,50	0,00	3,00	0,00	2,89	0,00	5,67	0,00	
1	3,15		2,51		4,95		2,99		2,94		5,87		4,2
	3,15		2,51		5,03		2,99		2,95		5,92		
	3,15		2,52		5,06		2,96		2,94		5,87		
	3,15	0,00	2,51	0,01	5,01	0,06	2,98	0,02	2,94	0,01	5,89	0,03	
2	3,51		2,39		4,80		2,86		3,13		6,23		4,2
	3,48		2,38		4,75		2,86		3,14		6,27		
	3,52		2,38		4,75		2,85		3,14		6,28		
	3,50	0,02	2,38	0,01	4,77	0,03	2,86	0,01	3,14	0,01	6,26	0,03	
3	3,71		2,26		4,56		2,69		3,34		6,68		4,3
	3,72		2,26		4,56		2,69		3,35		6,67		

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
	3,73		2,27		4,57		2,68		3,33		6,66		
	3,72	0,01	2,26	0,01	4,56	0,01	2,69	0,01	3,34	0,01	6,67	0,01	
4	3,76		2,19		4,33		2,63		3,33		6,72		4,3
	3,76		2,19		4,42		2,62		3,38		6,75		
	3,77		2,18		4,34		2,61		3,36		6,75		
	3,76	0,01	2,19	0,01	4,36	0,05	2,62	0,01	3,36	0,03	6,74	0,02	
5	3,80		2,15		4,23		2,53		3,64		7,33		4,3
	3,82		2,16		4,20		2,51		3,62		7,25		
	3,81		2,16		4,21		2,49		3,65		7,31		
	3,81	0,01	2,16	0,01	4,21	0,02	2,51	0,02	3,64	0,02	7,30	0,04	
6	3,81		2,11		4,23		2,39		3,91		7,73		4,3
	3,81		2,10		4,20		2,43		3,90		7,80		
	3,83		2,11		4,21		2,44		3,89		7,77		
	3,82	0,01	2,11	0,01	4,21	0,02	2,42	0,03	3,90	0,01	7,77	0,04	
7	3,85		2,03		4,11		2,39		4,12		8,17		4,3

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
	3,85		2,04		4,06		2,38		4,13		8,26		
	3,90		2,03		4,07		2,39		4,17		8,33		
	3,87	0,03	2,03	0,01	4,08	0,03	2,39	0,01	4,14	0,03	8,25	0,08	
8	3,91		1,99		3,98		2,33		4,44		8,87		4,3
	3,94		1,97		3,94		2,28		4,43		8,85		
	3,94		1,96		3,92		2,29		4,41		8,81		
	3,93	0,02	1,97	0,02	3,95	0,03	2,30	0,03	4,43	0,02	8,84	0,03	
9	3,96		1,93		3,90		2,27		4,80		9,50		4,3
	3,99		1,91		3,81		2,18		4,65		9,36		
	3,98		1,93		3,86		2,23		4,94		9,86		
	3,98	0,02	1,92	0,01	3,86	0,05	2,23	0,05	4,80	0,15	9,57	0,26	
10	4,01		1,89		3,79		2,21		4,86		9,27		4,3
	4,04		1,87		3,74		2,18		4,76		9,51		
	4,03		1,87		3,73		2,17		4,80		9,60		
	4,03	0,02	1,88	0,01	3,75	0,03	2,19	0,02	4,81	0,05	9,46	0,17	

Tabel B. 9 Proses Elektrolisis pH 3 Kuat Arus Listrik 200 mA

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
0	3,02		3,28		6,52		3,43		2,47		5,00		5,4
	3,02		3,28		6,52		3,43		2,47		5,00		
	3,02		3,28		6,52		3,43		2,47		5,00		
	3,02	0,00	3,28	0,00	6,52	0,00	3,43	0,00	2,47	0,00	5,00	0,00	
1	3,45		2,9		5,78		3,34		2,83		5,69		5,5
	3,46		2,92		5,88		3,22		2,63		5,24		
	3,45		3,12		6,17		3,32		2,86		5,73		
	3,45	0,01	2,98	0,12	5,94	0,20	3,29	0,06	2,77	0,13	5,55	0,27	
2	3,63		2,75		5,57		3,04		2,86		5,67		5,6
	3,65		2,76		5,52		2,98		2,88		5,77		
	3,66		2,8		5,62		2,99		2,88		5,73		
	3,65	0,02	2,77	0,03	5,57	0,05	3,00	0,03	2,87	0,01	5,72	0,05	

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
3	3,68		2,59		5,21		2,75		3,32		6,68		5,6
	3,72		2,64		5,28		2,74		3,14		6,24		
	3,71		2,64		5,3		2,72		3,11		6,28		
	3,70	0,02	2,623	0,03	5,26	0,05	2,74	0,02	3,19	0,11	6,40	0,24	
4	3,75		2,54		4,97		2,55		3,57		7,09		5,6
	3,76		2,52		5,05		2,57		3,54		7,10		
	3,77		2,51		5,03		2,53		3,55		7,09		
	3,76	0,01	2,52	0,02	5,02	0,04	2,55	0,02	3,55	0,02	7,09	0,01	
5	3,80		2,43		4,91		2,39		4,10		8,1		5,6
	3,80		2,430		4,83		2,37		4,03		8,1		
	3,80		2,43		4,88		2,34		4,07		8,1		
	3,80	0,00	2,43	0,00	4,87	0,04	2,37	0,03	4,07	0,04	8,10	0,00	
6	3,85		2,29		4,61		2,25		4,97		9,88		5,6
	3,84		2,30		4,6		2,23		4,60		9,15		
	3,85		2,29		4,59		2,21		4,50		9,00		

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
	3,85	0,01	2,29	0,01	4,60	0,01	2,23	0,02	4,69	0,25	9,34	0,47	
7	3,9		2,20		4,39		2,18		5,10		10,34		5,6
	3,9		2,16		4,33		2,11		5,10		10,17		
	3,9		2,16		4,33		2,11		5,08		10,16		
	3,90	0,00	2,17	0,02	4,35	0,03	2,13	0,04	5,09	0,01	10,22	0,10	
8	3,92		2,07		4,15		2,06		5,64		11,27		5,7
	3,94		2,06		4,11		2,04		5,66		11,31		
	3,96		2,04		4,09		2,01		6,17		12,35		
	3,94	0,02	2,057	0,02	4,12	0,03	2,04	0,03	5,82	0,30	11,64	0,61	
9	4,03		1,93		3,87		2,01		6,65		13,31		5,8
	4,03		1,86		3,84		1,98		6,19		12,11		
	4,04		1,92		3,71		1,98		6,15		12,30		
	4,03	0,01	1,90	0,04	3,81	0,09	1,99	0,02	6,33	0,28	12,57	0,65	
10	4,19		1,843		3,68		1,97		6,72		13,45		6,0
	4,15		1,822		3,64		1,94		6,74		13,47		

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
	4,14		1,819		3,64		1,93		6,72		13,47		
	4,16	0,03	1,83	0,01	3,65	0,02	1,95	0,02	6,73	0,01	13,46	0,01	

Tabel B. 10 Proses Elektrolisis pH 3 Kuat Arus Listrik 300 mA

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
0	3,1		5,28		8,44		2,96		5,42		10,64		5,4
	3,1		5,28		8,45		2,97		5,43		10,63		
	3,1		5,03		8,43		2,95		5,41		10,65		
	3,10	0,00	5,20	0,14	8,44	0,01	2,96	0,01	5,42	0,01	10,64	0,01	
1	3,66		4,95		8,45		2,55		4,06		9,2		5,8
	3,67		4,95		8,40		2,54		4,66		9,97		
	3,67		4,94		8,39		2,55		4,6		9,87		
	3,67	0,01	4,95	0,01	8,41	0,03	2,55	0,01	4,44	0,33	9,68	0,42	
2	3,72		4,09		8,09		2,25		3,7		11,33		5,8
	3,74		4,09		7,95		2,23		5,42		11,21		
	3,73		4,02		8,37		2,23		5,21		10,81		
	3,73	0,01	4,07	0,04	8,14	0,21	2,24	0,01	4,78	0,94	11,12	0,27	
3	3,8		3,68		6,68		2,08		6,39		13,02		5,8
	3,82		3,71		6,71		2,08		5,92		12,07		

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
	3,8		3,73		6,73		2,08		5,96		12,1		
	3,81	0,01	3,71	0,03	6,71	0,03	2,08	0,00	6,09	0,26	12,40	0,54	
4	3,86		3,27		6,62		1,95		6,64		13,64		5,9
	3,86		3,25		6,6		1,94		7,14		14,58		
	3,86		3,24		6,59		1,93		7,18		14,64		
	3,86	0,00	3,25	0,02	6,60	0,02	1,94	0,01	6,99	0,30	14,29	0,56	
5	3,85		3,12		8,55		1,79		8,65		18,91		6,0
	3,88		3,15		8,25		1,77		9,44		18,83		
	3,88		3,13		9,22		1,78		8,88		18,85		
	3,87	0,02	3,13	0,02	8,67	0,50	1,78	0,01	8,99	0,41	18,86	0,04	
6	3,89		3,33		8,64		1,7		10,3		20,7		6,3
	3,94		3,3		6,73		1,69		10,11		20,3		
	3,95		3,3		6,64		1,67		10,34		20,7		
	3,93	0,03	3,31	0,02	7,34	1,13	1,69	0,02	10,25	0,12	20,57	0,23	
7	4,12		3,14		6,66		1,63		11,40		22,90		6,7

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
	4,13		3,1		5,03		1,62		12,12		24,40		
	3,83		2,52		5,08		1,66		10,48		21,00		
	4,03	0,17	2,92	0,35	5,59	0,93	1,64	0,02	11,33	0,82	22,77	1,70	
8	4,30		2,95		8,25		1,59		11,11		22,2		6,8
	4,39		2,95		5,94		1,56		12,22		24,6		
	4,36		2,7		5,48		1,56		12,15		24,3		
	4,35	0,05	2,87	0,14	6,56	1,48	1,57	0,02	11,83	0,62	23,70	1,31	
9	5,40		2,86		5,72		1,5		13,12		26,2		6,8
	5,44		2,86		7,98		1,55		12,07		24,1		
	5,48		2,86		8,13		1,53		13,88		27,8		
	5,44	0,04	2,86	0,00	7,28	1,35	1,53	0,03	13,02	0,91	26,03	1,86	
10	6,8		2,67		8,51		1,65		12,94		25,9		6,8
	7,05		2,67		7,12		1,57		12,99		26		
	7,34		2,67		7,01		1,56		12,95		26		
	7,06	0,27	2,67	0,00	7,55	0,84	1,59	0,05	12,96	0,03	25,97	0,06	

Tabel B. 11 Proses Elektrolisis pH 4 Kuat Arus Listrik 100 mA

Jam ke-	filtrat						buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
0	4,10		1,77		3,52		4,10		2,39		4,90		
	4,10		1,77		3,53		4,10		2,37		4,70		
	4,10		1,76		3,51		4,10		2,38		4,80		
	4,10	0,00	1,77	0,00	3,52	0,01	4,10	0,00	2,38	0,01	4,80	0,10	4,30
1	4,31		1,67		3,37		3,80		2,42		4,79		
	4,31		1,68		3,44		3,83		2,36		4,75		
	4,31		1,68		3,43		3,80		2,37		4,75		
	4,31	0,00	1,68	0,01	3,41	0,04	3,81	0,02	2,38	0,03	4,76	0,02	4,60
2	4,44		1,70		3,38		3,83		2,40		4,81		
	4,44		1,59		3,21		3,79		2,45		4,85		
	4,44		1,69		3,35		3,79		2,62		5,23		
	4,44	0,00	1,66	0,06	3,31	0,09	3,80	0,02	2,49	0,12	4,96	0,23	4,70

Jam ke-	filtrat						buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
3	4,88		1,50		2,88		3,46		2,46		4,93		
	4,97		1,51		2,93		3,45		2,46		4,93		
	5,04		1,50		2,97		3,43		2,45		4,89		
	4,96	0,08	1,50	0,01	2,93	0,05	3,45	0,02	2,46	0,01	4,92	0,02	4,90
4	5,82		1,44		2,88		3,46		2,46		4,93		
	5,84		1,47		2,93		3,45		2,46		4,93		
	5,90		1,48		2,97		3,43		2,45		4,89		
	5,85	0,04	1,46	0,02	2,93	0,05	3,45	0,02	2,46	0,01	4,92	0,02	5,00
5	6,24		1,56		3,15		3,34		2,54		5,06		
	6,30		1,73		3,44		3,29		2,54		5,09		
	6,20		1,59		3,20		3,29		2,51		5,03		
	6,25	0,05	1,63	0,09	3,26	0,16	3,31	0,03	2,53	0,02	5,06	0,03	4,80
6	7,47		1,69		3,34		3,16		2,61		5,24		
	7,46		1,65		3,28		3,15		2,61		5,20		

Jam ke-	filtrat						buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
	7,46		1,68		3,36		3,14		2,64		5,29		
	7,46	0,01	1,67	0,02	3,33	0,04	3,15	0,01	2,62	0,02	5,24	0,05	4,60
7	7,52		1,84		3,70		3,05		2,72		5,40		
	7,57		1,87		3,73		3,02		2,70		5,40		
	7,61		1,87		3,75		3,02		2,69		5,29		
	7,57	0,05	1,86	0,02	3,73	0,03	3,03	0,02	2,70	0,02	5,36	0,06	4,40
8	7,60		1,87		3,77		3,00		2,79		5,51		
	7,63		1,87		3,73		2,97		2,78		5,57		
	7,65		1,94		3,92		2,97		2,76		5,52		
	7,63	0,03	1,89	0,04	3,81	0,10	2,98	0,02	2,78	0,02	5,53	0,03	4,30
9	7,65		2,05		4,17		2,93		2,83		5,63		
	7,68		2,24		4,52		2,88		2,84		5,66		
	7,70		2,07		4,16		2,87		2,84		5,64		
	7,68	0,03	2,12	0,10	4,28	0,21	2,89	0,03	2,84	0,01	5,64	0,02	4,30

Jam ke-	filtrat						buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
10	7,71		2,22		4,53		2,84		2,93		5,89		
	7,72		2,20		4,46		2,80		2,93		5,87		
	7,72		2,16		4,32		2,82		2,94		5,88		
	7,72	0,01	2,19	0,03	4,44	0,11	2,82	0,02	2,93	0,01	5,88	0,01	4,30

Tabel B. 12 Proses Elektrolisis pH 4 Kuat Arus Listrik 200 mA

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
0	4,00		1,93		3,85		4,00		2,45		4,92		
	4,00		1,93		3,85		4,00		2,45		4,92		
	4,00		1,93		3,85		4,00		2,45		4,92		
	4,00	0,00	1,93	0,00	3,85	0,00	4,00	0,00	2,45	0,00	4,92	0,00	5,60
1	4,89		1,76		3,50		3,83		2,55		5,11		

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
	4,96		1,76		3,51		3,83		2,56		5,10		
	4,86		1,77		3,54		3,85		2,56		5,13		
	4,90	0,05	1,76	0,01	3,52	0,02	3,84	0,01	2,56	0,01	5,11	0,02	6,10
2	8,72		1,63		3,24		3,48		3,67		7,29		
	8,69		1,62		3,24		3,50		3,94		7,91		
	8,71		1,62		3,24		3,50		3,72		7,44		
	8,71	0,02	1,62	0,00	3,24	0,00	3,49	0,01	3,78	0,14	7,55	0,32	6,40
3	9,99		1,47		2,92		3,22		3,50		6,92		
	9,98		1,47		2,92		3,25		2,85		5,70		
	9,98		1,47		2,92		3,25		2,84		5,71		
	9,98	0,01	1,47	0,00	2,92	0,00	3,24	0,02	3,06	0,38	6,11	0,70	6,50
4	10,71		1,39		2,81		3,06		3,86		7,59		
	10,76		1,40		2,79		3,03		4,21		8,46		
	10,77		1,70		3,40		3,04		3,42		6,84		

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
	10,75	0,03	1,49	0,18	3,00	0,35	3,04	0,02	3,83	0,40	7,63	0,81	6,60
5	11,25		1,50		3,06		2,94		3,10		6,18		
	11,27		1,53		3,15		2,90		3,11		6,24		
	11,29		1,53		3,27		2,89		3,10		6,19		
	11,27	0,02	1,52	0,02	3,16	0,11	2,91	0,03	3,10	0,01	6,20	0,03	6,40
6	11,55		1,69		3,39		2,72		3,21		6,43		
	11,57		1,66		3,27		2,74		4,31		8,63		
	11,56		2,00		3,90		2,74		3,35		6,70		
	11,56	0,01	1,78	0,19	3,52	0,33	2,73	0,01	3,62	0,60	7,25	1,20	6,30
7	11,69		2,04		4,12		2,57		3,60		7,18		
	11,70		1,81		3,61		2,55		4,67		9,37		
	11,68		1,81		3,64		2,56		4,31		8,63		
	11,69	0,01	1,89	0,13	3,79	0,29	2,56	0,01	4,19	0,54	8,39	1,11	6,30
8	11,79		1,93		3,90		2,46		3,54		7,08		

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
	11,80		1,97		3,91		2,47		3,59		7,17		
	11,79		1,92		3,83		2,48		3,64		7,34		
	11,79	0,01	1,94	0,02	3,88	0,04	2,47	0,01	3,59	0,05	7,20	0,13	5,90
9	11,85		2,18		4,54		2,40		4,71		9,26		
	11,89		2,17		4,52		2,39		4,80		9,65		
	11,91		2,19		6,23		2,38		4,00		7,99		
	11,88	0,03	2,18	0,01	5,10	0,98	2,39	0,01	4,50	0,44	8,97	0,87	5,80
10	11,91		2,18		4,31		2,32		3,96		7,88		
	11,92		2,32		4,31		2,32		3,95		7,91		
	11,93		3,09		4,31		2,32		3,97		7,93		
	11,92	0,01	2,53	0,01	4,31	0,00	2,32	0,00	3,96	0,01	7,91	0,03	5,60

Tabel B. 13 Proses Elektrolisis pH 4 Kuat Arus Listrik 300 mA

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
0	4,00		3,27		6,23		4,00		2,60		5,20		
	4,00		3,27		6,23		4,00		2,60		5,20		
	4,00		3,27		6,23		4,00		2,60		5,20		
	4,00	0,00	3,27	0,00	6,23	0,00	4,00	0,00	2,60	0,00	5,20	0,00	6,70
1	4,30		2,90		5,86		3,65		3,65		7,11		
	4,30		2,91		5,87		3,67		3,60		7,09		
	4,30		2,89		5,85		3,63		3,55		7,13		
	4,30	0,00	2,90	0,01	5,86	0,01	3,65	0,02	3,60	0,05	7,11	0,02	7,30
2	5,20		2,83		5,70		3,40		3,90		7,68		
	5,20		2,85		5,69		3,40		3,90		7,68		
	5,20		2,84		5,71		3,40		3,90		7,68		
	5,20	0,00	2,84	0,01	5,70	0,01	3,40	0,00	3,90	0,00	7,68	0,00	7,80
3	6,70		2,70		5,35		3,05		4,00		7,99		

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
	6,70		2,70		5,35		3,05		4,00		7,85		
	6,70		2,70		5,35		3,05		4,00		8,14		
	6,70	0,00	2,70	0,00	5,35	0,00	3,05	0,00	4,00	0,00	7,99	0,15	8,30
4	8,72		2,59		5,25		2,12		4,66		9,35		
	8,72		2,62		5,23		2,13		4,66		9,35		
	8,72		2,57		5,27		2,11		4,66		9,35		
	8,72	0,00	2,59	0,03	5,25	0,02	2,12	0,01	4,66	0,00	9,35	0,00	8,40
5	9,55		2,68		5,41		2,06		4,86		9,57		
	9,55		2,70		5,39		2,09		4,87		9,50		
	9,55		2,66		5,43		2,03		4,85		9,64		
	9,55	0,00	2,68	0,02	5,41	0,02	2,06	0,03	4,86	0,01	9,57	0,07	9,00
6	10,74		2,48		4,92		1,94		5,67		11,32		
	10,74		2,48		4,92		1,95		5,69		11,34		
	10,74		2,48		4,92		1,93		5,65		11,36		

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
	10,74	0,00	2,48	0,00	4,92	0,00	1,94	0,01	5,67	0,02	11,34	0,02	9,00
7	11,25		1,28		2,55		1,84		6,44		12,87		
	11,25		1,28		2,55		1,85		6,45		12,88		
	11,25		1,28		2,55		1,86		6,43		12,89		
	11,25	0,00	1,28	0,00	2,55	0,00	1,85	0,01	6,44	0,01	12,88	0,01	8,90
8	11,43		1,15		2,31		1,82		6,89		13,72		
	11,43		1,15		2,32		1,83		6,91		13,72		
	11,43		1,15		2,30		1,81		6,93		13,72		
	11,43	0,00	1,15	0,00	2,31	0,01	1,82	0,01	6,91	0,02	13,72	0,00	8,80
9	11,49		1,33		2,53		1,77		7,12		14,24		
	11,49		1,33		2,53		1,76		7,13		14,23		
	11,49		1,33		2,53		1,75		7,14		14,25		
	11,49	0,00	1,33	0,00	2,53	0,00	1,76	0,01	7,13	0,01	14,24	0,01	8,70
10	11,73		1,59		3,26		1,77		8,47		17,09		

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						Tegangan Listrik (V)
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
	11,73		1,59		3,28		1,75		8,47		17,09		
	11,73		1,59		3,24		1,73		8,47		17,09		
	11,73	0,00	1,59	0,00	3,26	0,02	1,74	0,01	8,47	0,00	17,09	0,00	8,50

Tabel B. 14 Proses Elektrolisis Ulang pH 3 Kuat Arus Listrik 300 mA

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						V
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
0	3,0 5		3,05		6,12		3,6 1		2,82		5,67		6,9
	3,0 5		3,25		6,53		3,6 1		2,85		5,70		
	3,0 5		2,96		5,89		3,6 1		2,92		5,83		
	3,0 5	0,0 0	3,09	0,1 5	6,18	0,3 2	3,6 1	0,0 0	2,86	0,0 5	5,73	0,0 9	
1	3,7 5		2,65		5,29		3,0 9		3,27		6,55		7,5

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						V
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
	3,7 4		2,65		5,41		3,1 0		3,11		6,29		
	3,7 6		2,65		5,18		3,0 6		3,15		6,30		
	3,7 5	0,0 1	2,65	0,0 0	5,29	0,1 2	3,0 8	0,0 2	3,18	0,0 8	6,38	0,1 5	
2	3,7 1		2,29		4,59		2,7 4		3,72		7,35		7,7
	3,7 5		2,24		4,48		2,7 5		3,46		6,89		
	3,7 3		2,35		4,72		2,7 5		3,52		7,02		
	3,7 3	0,0 2	2,29	0,0 6	4,60	0,1 2	2,7 5	0,0 1	3,57	0,1 4	7,09	0,2 4	
3	3,8 7		2,13		4,21		2,3 5		4,15		8,28		7,7
	3,8 7		2,13		4,21		2,3 5		4,15		8,28		
	3,8 7		2,13		4,21		2,3 5		4,15		8,28		
	3,8 7	0,0 0	2,13	0,0 0	4,21	0,0 0	2,3 5	0,0 0	4,15	0,0 0	8,28	0,0 0	
4	4,0 0		1,90		3,78		2,0 7		5,03		10,05		7,9

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						V
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
	4,0 4		1,91		3,82		2,1 0		5,15		10,36		
	4,0 5		1,90		3,82		2,0 8		5,10		10,20		
	4,0 3	0,0 3	1,90	0,0 1	3,81	0,0 2	2,0 8	0,0 2	5,09	0,0 6	10,20	0,1 6	
5	4,2 0		1,85		3,69		2,0 2		5,42		10,88		8,0
	4,2 0		1,80		3,58		2,0 4		5,46		10,90		
	4,2 0		1,80		3,61		2,0 4		5,49		11,00		
	4,2 0	0,0 0	1,82	0,0 3	3,63	0,0 6	2,0 3	0,0 1	5,46	0,0 4	10,93	0,0 6	
6	5,4 0		1,72		3,41		1,8 6		6,34		12,85		8,3
	5,4 0		1,73		3,45		1,8 8		6,29		12,53		
	5,4 0		1,67		3,34		1,8 9		6,29		12,21		
	5,4 0	0,0 0	1,70	0,0 3	3,40	0,0 6	1,8 8	0,0 2	6,31	0,0 3	12,53	0,3 2	
7	7,4 9		1,54		3,07		1,7 7		7,10		14,03		8,4

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						V
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
	7,4 9		1,51		3,02		1,7 7		6,94		13,82		
	7,4 9		1,51		3,02		1,7 7		6,94		13,82		
	7,4 9	0,0 0	1,52	0,0 2	3,04	0,0 3	1,7 7	0,0 0	6,99	0,0 9	13,89	0,1 2	
	8,4 4		1,37		2,72		1,7 5		7,22		15,31		
8	8,4 4		1,29		2,59		1,7 5		7,62		15,24		8,8
	8,4 4		1,32		2,64		1,7 5		7,75		15,49		
	8,4 4	0,0 0	1,33	0,0 4	2,65	0,0 7	1,7 5	0,0 0	7,53	0,2 8	15,35	0,1 3	
	9,0 9		1,11		2,25		1,7 0		7,87		16,96		
9	9,0 9		1,14		2,28		1,7 0		7,87		16,93		9,6
	9,0 9		1,14		2,28		1,7 0		7,87		16,93		
	9,0 9	0,0 0	1,13	0,0 2	2,27	0,0 2	1,7 0	0,0 0	7,87	0,0 0	16,94	0,0 2	
	9,0 9		1,11		2,25		1,7 0		7,87		16,96		
10	9,2 8		0,99		1,96		1,6 5		8,40		15,70		10, 2

Jam ke-	filtrat hasil asidifikasi						larutan buffer						V
	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	pH	SD	TDS (g/L)	SD	DHL (mS/cm)	SD	
	9,2 8		0,95		1,96		1,6 5		8,97		15,66		
	9,2 8		0,98		1,96		1,6 5		8,97		15,66		
	9,2 8	0,0 0	0,97	0,0 2	1,96	0,0 0	1,6 5	0,0 0	8,78	0,3 3	15,67	0,0 2	

Tabel B. 15 Hasil Analisis ICP awal Proses Elektrolisis pH 2, 100 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	649,2	648,1	643,5	646,9
Cu	mg/L	8	8	8	8,00
Cr	mg/L	18	19	19	18,7
Pb	mg/L	5	5	5	5,0
Al	mg/L	984,75	1075,75	1071,2	1043,9
TOTAL					1722,5

Tabel B. 16 Hasil Analisis ICP akhir Proses Elektrolisis pH 2, 100 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	4,54	4,51	4,53	18,11
Cu	mg/L	0,07	0,07	0,07	0,35
Cr	mg/L	0,17	0,18	0,17	0,17
Pb	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Al	mg/L	15,15	16,55	16,48	16,06
TOTAL					34,74

Tabel B. 17 Hasil Analisis ICP Katoda Perak Proses Elektrolisis pH 2, 100 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	76,34	76,21	76,31	76,29
Cu	mg/L	0,07	0,06	0,06	0,06
Cr	mg/L	0,17	0,18	0,17	0,17
Pb	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Al	mg/L	18,48	17,98	18,11	363,80
TOTAL					440,37

Tabel B. 18 Hasil Analisis ICP awal Proses Elektrolisis pH 2, 200 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	2157	2109	2098	2121,33
Cu	mg/L	10	9	9	9,33
Cr	mg/L	20	21	20	20,33
Pb	mg/L	5	5	5	5,00
Al	mg/L	1055	1051	1041	1049,00
TOTAL					3205,00

Tabel B. 19 Hasil Analisis ICP akhir Proses Elektrolisis pH 2, 200 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Cu	mg/L	0,07	0,07	0,07	0,07
Cr	mg/L	0,19	0,20	0,20	0,20
Pb	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Al	mg/L	10,55	10,51	10,41	10,49
TOTAL					10,86

Tabel B. 20 Hasil Analisis ICP Katoda Perak Proses Elektrolisis pH 2, 200 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	11,88	11,8	11,8	591,33
Cu	mg/L	0,04	0,04	0,03	0,04
Cr	mg/L	0,21	0,18	0,17	16,80
Pb	mg/L	0,15	0,1	0,1	10,50
Al	mg/L	12,86	12,11	12,55	1125,60
TOTAL					1744,27

Tabel B. 21 Hasil Analisis ICP Awal Proses Elektrolisis pH 2, 300 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	874,6	880,9	869,8	875,1000
Cu	mg/L	10,57	10,7	10,56	10,6100
Cr	mg/L	0,74	0,73	0,71	0,7267
Pb	mg/L	0,75	0,65	0,7	0,7000
Al	mg/L	1150,59	1176,89	1154,51	1160,6633
TOTAL					2047,8

Tabel B. 22 Hasil Analisis ICP Akhir Proses Elektrolisis pH 2, 300 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	0,10	0,11	0,11	0,1067
Cu	mg/L	0,08	0,09	0,08	0,0833
Cr	mg/L	0,88	0,86	0,85	0,8633
Pb	mg/L	0,40	0,40	0,35	0,3833
Al	mg/L	2,20	2,10	1,95	2,0833
TOTAL					3,5200

Tabel B. 23 Hasil Analisis ICP Katoda Perak Proses Elektrolisis pH 2, 300 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	1,03	0,95	0,99	0,990000
Cu	mg/L	0,05	0,06	0,06	0,056667
Cr	mg/L	0,05	0,04	0,05	0,046667
Pb	mg/L	0,35	0,31	0,35	0,336667
Al	mg/L	1,95	2,15	2,18	2,093333
TOTAL					3,523333

Tabel B. 24 Hasil Analisis ICP Awal Proses Elektrolisis pH 3, 100 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	92,8	90,55	91,75	458,50
Cu	mg/L	0,45	0,65	0,7	0,60
Cr	mg/L	4,75	4,95	4,95	4,88
Pb	mg/L	1,5	2	2,25	1,92
Al	mg/L	1623,35	1657,8	1646,85	1642,67
TOTAL					2108,57

Tabel B. 25 Hasil Analisis ICP Akhir Proses Elektrolisis pH 3, 100 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	3,91	4,04	3,98	3,98
Cu	mg/L	0,10	0,11	0,12	0,11
Cr	mg/L	0,75	0,76	0,71	0,74
Pb	mg/L	0,40	0,45	0,35	0,40
Al	mg/L	134,25	139,30	137,15	136,90
TOTAL					142,13

Tabel B. 26 Hasil Analisis ICP Katoda Perak Proses Elektrolisis pH 3, 100 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	4,61	4,72	4,68	7,01
Cu	mg/L	0,04	0,05	0,04	0,04
Cr	mg/L	1,01	0,98	0,97	0,99
Pb	mg/L	0,30	0,35	0,40	0,35
Al	mg/L	22,20	21,00	21,45	21,55
TOTAL					29,94

Tabel B. 27 Hasil Analisis ICP Awal Proses Elektrolisis pH 3, 200 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	800,800	809,600	803,000	804,467
Cu	mg/L	4,500	4,500	3,900	4,300
Cr	mg/L	27,900	28,500	28,500	28,300
Pb	mg/L	15,000	13,500	15,000	14,500
Al	mg/L	2008,500	1992,000	1995,000	1998,500
TOTAL					2850,067

Tabel B. 28 Hasil Analisis ICP Akhir Proses Elektrolisis pH 3, 200 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	0,17	0,15	0,16	16,00
Cu	mg/L	0,03	0,04	0,05	0,04
Cr	mg/L	1,01	0,99	0,98	0,99
Pb	mg/L	0,35	0,40	0,45	0,40
Al	mg/L	53,45	53,45	52,95	53,28
TOTAL					70,72

Tabel B. 29 Hasil Analisis ICP Katoda Perak Proses Elektrolisis pH 3, 200 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	23,59	23,99	23,95	23,84
Cu	mg/L	0,34	0,33	0,35	0,34
Cr	mg/L	0,94	0,96	0,93	0,94
Pb	mg/L	0,40	0,30	0,30	0,33
Al	mg/L	55,21	56,10	55,21	55,51
TOTAL					80,97

Tabel B. 30 Hasil Analisis ICP Awal Proses Elektrolisis pH 3, 300 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	887,30	946,58	882,93	905,60
Cu	mg/L	15,39	16,34	15,20	15,64
Cr	mg/L	3,61	3,99	4,56	4,05
Pb	mg/L	15,20	19,00	17,10	17,10
Al	mg/L	2964,80	2837,30	2995,40	2932,50
TOTAL					3874,900

Tabel B. 31 Hasil Analisis ICP Akhir Proses Elektrolisis pH 3, 300 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	22,21	24,14	24,11	469,73
Cu	mg/L	0,13	0,13	0,14	0,13
Cr	mg/L	0,99	0,93	0,94	95,33
Pb	mg/L	0,40	0,35	0,30	35,00
Al	mg/L	327,80	327,80	326,86	327,49
TOTAL					927,69

Tabel B. 32 Hasil Analisis ICP Katoda Perak Proses Elektrolisis pH 3, 300 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	55,00	55,00	55,00	55,00
Cu	mg/L	0,61	0,68	0,56	61,66
Cr	mg/L	0,04	0,31	0,28	21,00
Pb	mg/L	0,60	0,70	0,60	63,33
Al	mg/L	547,90	552,60	551,97	550,82
TOTAL					751,82

Tabel B. 33 Hasil Analisis ICP Awal Proses Elektrolisis pH 4, 100 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	2,10	2,40	2,40	34,5000
Cu	mg/L	0,02	1,40	1,20	0,8733
Cr	mg/L	0,93	0,92	0,91	0,9200
Pb	mg/L	0,45	0,30	0,35	0,3667
Al	mg/L	290,00	265,00	250,00	268,3333
TOTAL					304,9933

Tabel B. 34 Hasil Analisis ICP Akhir Proses Elektrolisis pH 4, 100 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	0,14	0,11	0,14	0,13000
Cu	mg/L	0,07	0,06	0,06	0,06333
Cr	mg/L	1,17	0,98	0,99	1,04667
Pb	mg/L	0,40	0,30	0,45	0,38333
Al	mg/L	1,85	2,20	2,00	2,01667
TOTAL					3,64000

Tabel B. 35 Hasil Analisis ICP Katoda Perak Proses Elektrolisis pH 4, 100 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	0,18	0,17	0,16	0,17
Cu	mg/L	0,05	0,03	0,04	0,04
Cr	mg/L	1,14	0,99	0,93	1,02
Pb	mg/L	0,40	0,30	0,45	0,38
Al	mg/L	2,85	2,20	2,10	2,38
TOTAL					4,00

Tabel B. 36 Hasil Analisis ICP Awal Proses Elektrolisis pH 4, 200 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	106,90	127,20	127,20	120,43
Cu	mg/L	0,36	0,36	0,36	0,36
Cr	mg/L	1,32	1,44	1,56	1,44
Pb	mg/L	1,20	1,20	1,20	1,20
Al	mg/L	688,87	686,77	685,37	687,00
TOTAL					810,44

Tabel B. 37 Hasil Analisis ICP Akhir Proses Elektrolisis pH 4, 200 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	0,05	0,05	0,05	1,50
Cu	mg/L	0,02	0,03	0,03	0,03
Cr	mg/L	0,15	0,16	0,15	0,15
Pb	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Al	mg/L	2,60	2,49	2,71	2,60
TOTAL					4,33

Tabel B. 38 Hasil Analisis ICP Katoda Perak Proses Elektrolisis pH 4, 200 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	0,44	0,43	0,43	2,17
Cu	mg/L	0,07	0,06	0,06	0,06
Cr	mg/L	0,21	0,20	0,20	0,20
Pb	mg/L	0,15	0,10	0,10	0,12
Al	mg/L	7,10	7,81	7,55	7,49
TOTAL					10,04

Tabel B. 39 Hasil Analisis ICP Awal Proses Elektrolisis pH 4, 300 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	84,60	84,00	84,00	84,20
Cu	mg/L	7,35	6,65	6,65	6,88
Cr	mg/L	5,95	6,30	6,30	6,18
Pb	mg/L	3,50	3,50	3,50	3,50
Al	mg/L	769,73	771,55	781,43	774,24
TOTAL					875,00

Tabel B. 40 Hasil Analisis ICP Akhir Proses Elektrolisis pH 4, 300 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	0,05	0,05	0,05	5,00
Cu	mg/L	0,03	0,04	0,03	0,83
Cr	mg/L	0,20	0,17	0,19	0,19
Pb	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Al	mg/L	15,65	15,11	15,75	15,50
TOTAL					21,57

Tabel B. 41 Hasil Analisis ICP Katoda Perak Proses Elektrolisis pH 4, 300 mA

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	12,96	12,87	12,87	12,90
Cu	mg/L	5,96	5,92	5,86	5,91
Cr	mg/L	0,18	0,18	0,18	0,18
Pb	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Al	mg/L	63,70	64,11	64,17	63,99
TOTAL					83,03

Tabel B. 42 Hasil Analisis ICP Proses Elektrolisis Ulang pH 3, 300 mA jam ke-0

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	46,55	47,65	45,55	46,58
Cu	mg/L	0,45	0,45	0,40	0,43
Cr	mg/L	0,85	0,90	0,90	0,88
Pb	mg/L	1,00	1,00	0,75	0,92
Al	mg/L	1934,15	1931,85	1932,20	1932,73
TOTAL					1981,55

Tabel B. 43 Hasil Analisis ICP Proses Elektrolisis Ulang pH 3, 300 mA jam ke-1

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	21,80	21,75	23,05	22,20
Cu	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,15
Cr	mg/L	0,80	0,75	0,75	0,77
Pb	mg/L	0,50	0,75	0,75	0,67
Al	mg/L	897,50	877,50	890,55	888,52
TOTAL					912,30

Tabel B. 44 Hasil Analisis ICP Proses Elektrolisis Ulang pH 3, 300 mA jam ke-2

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	17,30	17,60	17,90	17,60
Cu	mg/L	0,25	0,20	0,20	0,22
Cr	mg/L	0,80	0,80	0,80	0,80
Pb	mg/L	0,25	0,50	0,50	0,42
Al	mg/L	441,25	430,50	439,90	437,22
TOTAL					456,25

Tabel B. 45 Hasil Analisis ICP Proses Elektrolisis Ulang pH 3, 300 mA jam ke-3

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	13,70	12,90	13,65	13,42
Cu	mg/L	0,45	0,45	0,50	0,47
Cr	mg/L	0,85	0,80	0,75	0,80
Pb	mg/L	0,50	0,75	0,75	0,67
Al	mg/L	302,50	309,40	304,90	305,60
TOTAL					320,95

Tabel B. 46 Hasil Analisis ICP Proses Elektrolisis Ulang pH 3, 300 mA jam ke-4

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	7,75	7,85	8,20	7,93
Cu	mg/L	0,35	0,35	0,35	0,35
Cr	mg/L	0,50	0,55	0,50	0,52
Pb	mg/L	0,75	0,50	0,50	0,58
Al	mg/L	156,50	156,50	152,50	155,17
TOTAL					164,55

Tabel B. 47 Hasil Analisis ICP Proses Elektrolisis Ulang pH 3, 300 mA jam ke-5

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	3,75	5,40	5,05	4,73
Cu	mg/L	0,30	0,30	0,30	0,30
Cr	mg/L	0,55	0,65	0,60	0,60
Pb	mg/L	1,00	0,75	1,25	1,00
Al	mg/L	91,75	93,75	92,50	92,67
TOTAL					99,30

Tabel B. 48 Hasil Analisis ICP Proses Elektrolisis Ulang pH 3, 300 mA jam ke-6

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	0,40	0,40	0,45	0,42
Cu	mg/L	0,25	0,25	0,25	0,25
Cr	mg/L	0,60	0,80	0,70	0,70
Pb	mg/L	1,00	1,25	1,00	1,08
Al	mg/L	14,75	14,50	13,85	14,37
TOTAL					16,82

Tabel B. 49 Hasil Analisis ICP Proses Elektrolisis Ulang pH 3, 300 mA jam ke-7

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	0,35	0,00	0,40	0,25
Cu	mg/L	0,10	0,15	0,15	0,13
Cr	mg/L	0,70	0,75	0,75	0,73
Pb	mg/L	1,25	1,00	1,00	1,08
Al	mg/L	14,75	15,50	13,85	14,70
TOTAL					16,90

Tabel B. 50 Hasil Analisis ICP Proses Elektrolisis Ulang pH 3, 300 mA jam ke-8

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	0,55	0,60	0,60	0,58
Cu	mg/L	0,20	0,20	0,25	0,22
Cr	mg/L	0,75	0,80	0,80	0,78
Pb	mg/L	0,50	0,75	0,75	0,67
Al	mg/L	14,90	15,55	14,40	14,95
TOTAL					17,20

Tabel B. 51 Hasil Analisis ICP Proses Elektrolisis Ulang pH 3, 300 mA jam ke-9

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	0,40	0,40	0,40	0,40
Cu	mg/L	0,25	0,20	0,20	0,22
Cr	mg/L	0,85	0,85	0,85	0,85
Pb	mg/L	1,25	1,00	1,25	1,17
Al	mg/L	19,75	18,85	18,25	18,95
TOTAL					21,58

Tabel B. 52 Hasil Analisis ICP Proses Elektrolisis Ulang pH 3, 300 mA jam ke-10

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	0,55	0,55	0,60	0,57
Cu	mg/L	0,20	0,20	0,20	0,20
Cr	mg/L	0,80	0,70	0,75	0,75
Pb	mg/L	1,00	1,00	1,25	1,08
Al	mg/L	19,65	18,85	20,55	19,68
TOTAL					22,28

Tabel B. 53 Hasil Analisis ICP Proses Elektrolisis Ulang pH 3, 300 mA endapan pada katoda

Parameter	unit	simplo	duplo	triplo	average (mg/L)
Fe	mg/L	13,37	14,11	13,07	13,52
Cu	mg/L	2,09	2,17	0,18	1,48
Cr	mg/L	0,15	0,16	0,16	0,16
Pb	mg/L	0,25	0,25	0,25	0,25
Al	mg/L	356,33	355,78	355,98	356,03
TOTAL					371,43

A. Perhitungan Kadar Air Lumpur

Simplo

$$A = \frac{(37,8500-28,8164)-(28,8964-28,8164)}{(37,8500-28,8164)} \times 100\% \\ = 99,11\%$$

Duplo

$$B = \frac{8,8524-0,144}{8,8524} \times 100\% \\ = 98,37\%$$

Triplo

$$C = \frac{8,315-0,02058}{8,315} \times 100\% \\ = 99,75\%$$

B. Perhitungan nilai *Sludge Volume Index (SVI)*

$$SVI = \frac{\text{volume sludge selama 30 menit } \left(\frac{mL}{L}\right)}{TSS \left(\frac{mg}{L}\right)} \times 1000$$

Simplo

$$SVI = \frac{750 \left(\frac{mL}{L}\right)}{7.440 \left(\frac{mg}{L}\right)} \times 1000 \\ = 100,8 \text{ mL/g}$$

Duplo

$$SVI = \frac{800 \left(\frac{mL}{L}\right)}{5.844 \left(\frac{mg}{L}\right)} \times 1000 \\ = 136,89 \text{ mL/g}$$

Triplo

$$SVI = \frac{700 \left(\frac{mL}{L}\right)}{6.676 \left(\frac{mg}{L}\right)} \times 1000 \\ = 104,85 \text{ mL/g}$$

C. Perhitungan nilai Total Solids

$$\text{Zat padat total (mg/L)} = \frac{(b-a) \times 1000 \times 1000}{c}$$

a = cawan kosong setelah difurnace 550°C dan dioven 105°C

- b = cawan hasil residu setelah dioven 105°C
 c = volume sampel (mL)

Simplo

$$\begin{aligned}\text{Zat padat total (mg/L)} &= \frac{31,6142-31,2443 \times 1000 \times 1000}{30 \text{ mL}} \\ &= 12.330 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

Duplo

$$\begin{aligned}\text{Zat padat total (mg/L)} &= \frac{31,7374-31,3529 \times 1000 \times 1000}{30 \text{ mL}} \\ &= 12.816,7 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

Triplo

$$\begin{aligned}\text{Zat padat total (mg/L)} &= \frac{31,7506-31,3624 \times 1000 \times 1000}{30 \text{ mL}} \\ &= 12.940 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

D. Perhitungan nilai *Total Volatile Solids* dan *Total Fixed Solids*

$$\text{TVS (mg/L)} = \frac{(b-d) \times 1000 \times 1000}{c}$$

Simplo

$$\begin{aligned}\text{TVS (mg/L)} &= \frac{(31,642-31,5650) \times 1000 \times 1000}{30 \text{ mL}} \\ &= 1.706,7 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

Duplo

$$\begin{aligned}\text{TVS (mg/L)} &= \frac{(31,7374-31,6840) \times 1000 \times 1000}{30 \text{ mL}} \\ &= 1780,00 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

Triplo

$$\begin{aligned}\text{TVS (mg/L)} &= \frac{(31,7506-31,6992) \times 1000 \times 1000}{30 \text{ mL}} \\ &= 1.713,3 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

$$\text{TFS (mg/L)} = \frac{(d-a) \times 1000 \times 1000}{c}$$

c = berat cawan dan residu setelah pembakaran 550°C

Simplo

$$\begin{aligned}\text{TFS (mg/L)} &= \frac{(31,5630-31,2443) \times 1000 \times 1000}{30 \text{ mL}} \\ &= 10.623,33 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

Duplo

$$\text{TFS (mg/L)} = \frac{(31,6840-31,3529) \times 1000 \times 1000}{30 \text{ mL}}$$

$$= 11.036,66 \text{ mg/L}$$

Triplo

$$\text{TFS (mg/L)} = \frac{(31,6992-31,3624) \times 1000 \times 1000}{30 \text{ mL}} \\ = 11.226,00 \text{ mg/L}$$

E. Perhitungan nilai *Total Dissolved Solids* (TDS)

$$\text{Zat padat terlarut (mg/L)} = \frac{(k-i) \times 1000 \times 1000}{j}$$

i = cawan kosong (g)

k = cawan + filtrat setelah didesikator (g)

j = Filtrat hasil analisis zat padat tersuspensi (mL)

Simplo

$$\text{Zat padat terlarut (mg/L)} = \frac{(32,2607-32,2510) \times 1000 \times 1000}{28 \text{ mL}} \\ = 346,428 \text{ mg/L}$$

Duplo

$$\text{Zat padat terlarut (mg/L)} = \frac{(28,8239-28,8139) \times 1000 \times 1000}{27 \text{ mL}} \\ = 333,33 \text{ mg/L}$$

Triplo

$$\text{Zat padat terlarut (mg/L)} = \frac{(32,4606-32,45138) \times 1000 \times 1000}{27 \text{ mL}} \\ = 341,26 \text{ mg/L}$$

F. Perhitungan Berat Endapan Katoda

Pada akhir proses elektrolisis, elektroda perak dikeringkan dengan suhu 105°C dan ditimbang dengan neraca analitis. Berat yang diperoleh dikurangi dengan berat awal elektroda perak.

Proses Elektrolisis pH 2, 100 mA

Δ berat elektroda perak

= (berat kering elektroda akhir – berat kering elektroda awal)

= 22,7293 – 22,0713

= 0,658 g

Proses Elektrolisis pH 2, 200 mA

Δ berat elektroda perak
= (berat kering elektroda akhir – berat kering elektroda awal)
= 22,0593 – 21,0813
= 0,978 g

Proses Elektrolisis pH 2, 300 mA

Δ berat elektroda perak
= (berat kering elektroda akhir – berat kering elektroda awal)
= 23,922 – 22,672
= 1,250 g

Proses Elektrolisis pH 3, 100 mA

Δ berat elektroda perak
= (berat kering elektroda akhir – berat kering elektroda awal)
= 22,626 – 21,458
= 1,168 g

Proses Elektrolisis pH 3, 200 mA

Δ berat elektroda perak
= (berat kering elektroda akhir – berat kering elektroda awal)
= 24,555 – 22,0713
= 1,801 g

Proses Elektrolisis pH 3, 300 mA

Δ berat elektroda perak
= (berat kering elektroda akhir – berat kering elektroda awal)
= 25,088 – 22,098
= 2,990 g

Proses Elektrolisis pH 4, 100 mA

Δ berat elektroda perak
= (berat kering elektroda akhir – berat kering elektroda awal)
= 22,1893 – 22,0713
= 0,118 g

Proses Elektrolisis pH 4, 200 mA

Δ berat elektroda perak
= (berat kering elektroda akhir – berat kering elektroda awal)

$$= 22,3764 - 22,0654$$

$$= 0,311 \text{ g}$$

Proses Elektrolisis pH 4, 300 mA

$$\Delta \text{ berat elektroda perak}$$

$$= (\text{berat kering elektroda akhir} - \text{berat kering elektroda awal})$$

$$= 22,4497 - 22,0987$$

$$= 0,351 \text{ g}$$

Proses Elektrolisis Ulang pH 3, 300 mA

$$\Delta \text{ berat elektroda perak}$$

$$= (\text{berat kering elektroda akhir} - \text{berat kering elektroda awal})$$

$$= 23,516 - 21,056$$

$$= 2,46 \text{ g}$$

G. Perhitungan Berat Koloid Kering

Endapan koloid yang terbentuk setelah proses elektrolisis pada dasar *feed tank*, disentrifugasi dan dikeringkan pada suhu 105°C.

Proses Elektrolisis pH 2, 100 mA

$$\Delta \text{ berat kering koloid}$$

$$= \text{berat kering botol centrifuge berisi koloid} - \text{berat kering botol centrifuge kosong}$$

$$= 13,8628 \text{ g} - 12,4698$$

$$= 1,393 \text{ g}$$

Proses Elektrolisis pH 2, 200 mA

$$\Delta \text{ berat kering koloid}$$

$$= \text{berat kering botol centrifuge berisi koloid} - \text{berat kering botol centrifuge kosong}$$

$$= 13,5797 \text{ g} - 12,4777$$

$$= 1,102 \text{ g}$$

Proses Elektrolisis pH 2, 300 mA

$$\Delta \text{ berat kering koloid}$$

$$= \text{berat kering botol centrifuge berisi koloid} - \text{berat kering botol centrifuge kosong}$$

$$= 12,9776 \text{ g} - 12,4856$$

$$= 0,492 \text{ g}$$

Proses Elektrolisis pH 3, 100 mA

$$\Delta \text{ berat kering koloid}$$

$$= \text{berat kering botol centrifuge berisi koloid} - \text{berat kering botol centrifuge kosong}$$

$$= 13,0795 \text{ g} - 12,4935$$

$$= 0,586 \text{ g}$$

Proses Elektrolisis pH 3, 200 mA

$$\Delta \text{ berat kering koloid}$$

$$= \text{berat kering botol centrifuge berisi koloid} - \text{berat kering botol centrifuge kosong}$$

$$= 13,2374 \text{ g} - 12,5014$$

$$= 0,736 \text{ g}$$

Proses Elektrolisis pH 3, 300 mA

$$\Delta \text{ berat kering koloid}$$

$$= \text{berat kering botol centrifuge berisi koloid} - \text{berat kering botol centrifuge kosong}$$

$$= 13,2532 \text{ g} - 12,5093$$

$$= 0,912$$

Proses Elektrolisis pH 4, 100 mA

$$\Delta \text{ berat kering koloid}$$

$$= \text{berat kering botol centrifuge berisi koloid} - \text{berat kering botol centrifuge kosong}$$

$$= 13,0391 \text{ g} - 12,5251$$

$$= 0,514$$

Proses Elektrolisis pH 4, 200 mA

$$\Delta \text{ berat kering koloid}$$

$$= \text{berat kering botol centrifuge berisi koloid} - \text{berat kering botol centrifuge kosong}$$

$$= 13,5930 \text{ g} - 12,5330$$

$$= 1,060 \text{ g}$$

Proses Elektrolisis pH 4, 300 mA

Δ berat kering koloid
 = berat kering botol centrifuge berisi koloid – berat kering botol centrifuge kosong
 = 13,7919 g – 12,5409
 = 1,251 g

Proses Elektrolisis Ulang pH 3, 300 mA

Δ berat kering koloid
 = berat kering botol centrifuge berisi koloid – berat kering botol centrifuge kosong
 = 14,3508 g – 12,5488
 = 1,802 g

H. Perhitungan Massa Aluminium pada Katoda

pH	kuat arus listrik (mA)	Rasio Aluminium Hasil ICP	Massa Endapan pada Katoda	massa Al pada katoda (g)
		A	B	A x B
2	100	0,826	0,658	0,543
	200	0,645	0,978	0,631
	300	0,594	1,250	0,742
3	100	0,719	1,168	0,841
	200	0,685	1,801	1,235
	300	0,732	2,990	2,191
4	100	0,596	0,118	0,070
	200	0,745	0,311	0,232
	300	0,770	0,351	0,271

I. Contoh Perhitungan %Recovery Al dan Fe Proses Elektrolisis pH 3 kuat arus listrik 300 mA

- i. Massa Logam Al pada Awal Proses Elektrolisis (A)
 - Hasil ICP Al awal = 3.277,50 mg/L
 - Volume awal filtrat= 1 L
 - Massa Al awal = Hasil ICP Al awal x Volume
 = 2.932,50 mg/L x 1 L

$$= 2,93 \text{ gram}$$

ii. Massa Logam Al pada Akhir Proses Elektrolisis (B)

- Hasil ICP Al awal = 327,49 mg/L

- Volume awal filtrat = 0,95 L

- Massa Al awal = Hasil ICP Al awal x Volume

$$= 327,49 \text{ mg/L} \times 0,95 \text{ L}$$

$$= 0,31 \text{ gram}$$

iii. Massa Logam Al pada Elektroda Perak (C)

Setelah proses elektrolisis, adanya proses asidifikasi katoda perak dengan menggunakan asam nitrat pH 2 sebanyak 50 mL.

- Hasil ICP Al = 550,82 mg/L

- Volume HNO₃ = 50 mL

- Massa Al = Hasil ICP Al x Volume

$$= 550,82 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$= 0,027 \text{ gram}$$

- Massa total logam = massa logam *impurities* + Al

$$= 0,37 \text{ gram}$$

- Rasio Al = $\frac{\text{massa Al}}{\text{massa total logam}}$

$$= \frac{0,027}{0,37}$$

$$= 0,73$$

- Massa katoda = 2,99 gram

- Massa Al pada katoda = Rasio Al x massa katoda

$$= 0,73 \times 2,99 \text{ gram}$$

$$= 2,19 \text{ gram}$$

iv. Massa Logam Al pada Koloid (D)

Koloid yang terbentuk merupakan Al(OH)₃, sehingga perhitungan Al dalam koloid menggunakan Berat Molekul (BM).

- Berat koloid kering = 0,912 gram

- Massa Al dalam koloid

$$= \frac{BM \text{ Al}}{BM \text{ Al(OH)}_3} \times \text{berat koloid kering}$$

$$= \frac{27}{78} \times 0,912 \text{ gram}$$

$$= 0,315 \text{ gram}$$

v. Persentase *recovery* logam Al = $\frac{c}{A} \times 100\%$

$$= \frac{2,19}{2,93} \times 100\%$$

$$= 74,70\%$$

vi. Massa Logam Fe pada Awal Proses Elektrolisis (E)

- Hasil ICP Fe awal = 905,60 mg/L
- Volume awal filtrat = 1 L
- Massa Fe awal = Hasil ICP Fe awal x Volume
= 905,60 mg/L x 1 L
= 0,905 gram

vii. Massa Logam Fe pada Elektroda Perak (F)

Setelah proses elektrolisis, adanya proses asidifikasi katoda perak dengan menggunakan asam nitrat (HNO_3) pH 2 sebanyak 50 mL.

- Hasil ICP Fe = 55,00 mg/L
- Volume HNO_3 = 50 mL
- Massa Fe = Hasil ICP Fe x Volume HNO_3
= 55,00 mg/L x 0,05 L
= 0,0027 gram
- Massa total logam = massa logam *impurities* + Fe
= 0,37 gram
- Rasio Fe = $\frac{\text{massa Fe}}{\text{massa total logam}}$
= $\frac{0,0027}{0,37}$
= 0,073
- Massa katoda = 2,99 gram
- Massa Fe pada katoda
= Rasio Fe x massa katoda
= 0,073 x 2,99 gram
= 0,22 gram

viii. Persentase *recovery* logam Fe = $\frac{F}{E} \times 100\%$
= $\frac{0,22}{0,905} \times 100\%$
= 24,15%

J. Perhitungan Nilai COD pada Proses Elektrolisis Ulang pH 3, 300 mA

$$\text{COD (mg O}_2\text{/L)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000 \times P}{\text{volume sampel}}$$

A = mL FAS titrasi blanko

B = mL FAS titrasi sampel

N = normalitas larutan FAS

P = nilai pengenceran

Jam ke-0

$$\begin{aligned}\text{COD (mg O}_2\text{/L)} &= \frac{(2,7-2,4) \times 0,0125 \times 8000 \times 5}{0,2 \text{ mL}} \\ &= 750,00 \text{ mg O}_2\text{/L}\end{aligned}$$

Jam ke-1

$$\begin{aligned}\text{COD (mg O}_2\text{/L)} &= \frac{(2,7-2,45) \times 0,0125 \times 8000 \times 5}{0,2 \text{ mL}} \\ &= 625,00 \text{ mg O}_2\text{/L}\end{aligned}$$

Jam ke-2

$$\begin{aligned}\text{COD (mg O}_2\text{/L)} &= \frac{(2,70-2,30) \times 0,0125 \times 8000 \times 5}{0,2 \text{ mL}} \\ &= 1.000,00 \text{ mg O}_2\text{/L}\end{aligned}$$

Jam ke-3

$$\begin{aligned}\text{COD (mg O}_2\text{/L)} &= \frac{(2,70-2,00) \times 0,0125 \times 8000 \times 5}{0,2 \text{ mL}} \\ &= 1.750,00 \text{ mg O}_2\text{/L}\end{aligned}$$

Jam ke-4

$$\begin{aligned}\text{COD (mg O}_2\text{/L)} &= \frac{(2,70-2,40) \times 0,0125 \times 8000 \times 5}{0,2 \text{ mL}} \\ &= 750,00 \text{ mg O}_2\text{/L}\end{aligned}$$

Jam ke-5

$$\begin{aligned}\text{COD (mg O}_2\text{/L)} &= \frac{(2,70-2,55) \times 0,0125 \times 8000 \times 5}{0,2 \text{ mL}} \\ &= 375,00 \text{ mg O}_2\text{/L}\end{aligned}$$

Jam ke-6

$$\begin{aligned}\text{COD (mg O}_2\text{/L)} &= \frac{(2,70-1,60) \times 0,0125 \times 8000 \times 5}{0,2 \text{ mL}} \\ &= 2.750,00 \text{ mg O}_2\text{/L}\end{aligned}$$

Jam ke-7

$$\text{COD (mg O}_2\text{/L)} = \frac{(2,70-2,35) \times 0,0125 \times 8000 \times 5}{0,2 \text{ mL}}$$

$$= 875,00 \text{ mg O}_2/\text{L}$$

Jam ke-8

$$\begin{aligned} \text{COD (mg O}_2/\text{L)} &= \frac{(2,70-2,30) \times 0,0125 \times 8000 \times 5}{0,2 \text{ mL}} \\ &= 1.000,00 \text{ mg O}_2/\text{L} \end{aligned}$$

Jam ke-9

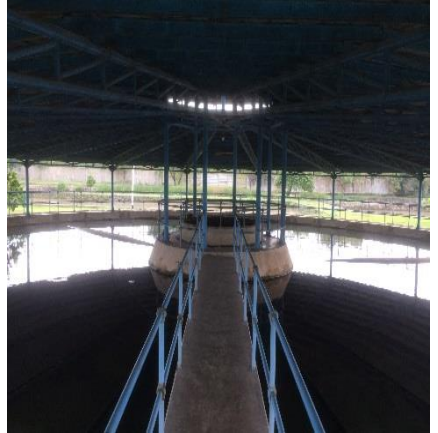
$$\begin{aligned} \text{COD (mg O}_2/\text{L)} &= \frac{(2,70-2,65) \times 0,0125 \times 8000 \times 5}{0,2 \text{ mL}} \\ &= 125,00 \text{ mg O}_2/\text{L} \end{aligned}$$

Jam ke-10

$$\begin{aligned} \text{COD (mg O}_2/\text{L)} &= \frac{(2,70-2,40) \times 0,0125 \times 8000 \times 5}{0,2 \text{ mL}} \\ &= 750,00 \text{ mg O}_2/\text{L} \end{aligned}$$

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN C DOKUMENTASI



Gambar C. 1 Unit *Clearator* PDAM Karang Pilang II



Gambar C. 2 Pipa Drainase *Clearator*



Gambar C. 3 Bak Tawas Cair PDAM



Gambar C. 4 Endapan Koloid Kering



Gambar C. 5 Proses Elektrolisis



Gambar C. 6 Endapan Logam pada Katoda yang telah dikeringkan



a)



b)

Gambar C. 7 Filtrat hasil asidifikasi dan larutan buffer (a) Sebelum proses elektrolisis, (b) sesudah proses elektrolisis



Gambar C. 9 Elektroda Karbon



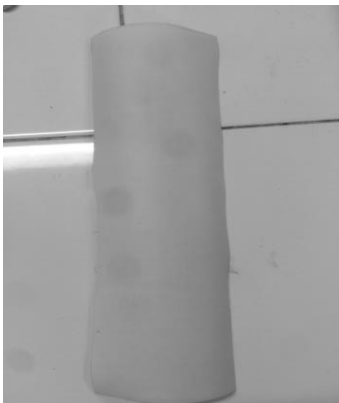
Gambar C. 8 Elektroda Perak



Gambar C. 11 Endapan Logam yang Menempel pada Elektroda Perak



Gambar C. 10 Endapan koloid setelah sentrifugasi



a)



b)

Gambar C. 12 Membran Penukar Anion (AEM)
a) Sebelum proses elektrolisis, b) sesudah proses elektrolisis

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Jakarta, 31 Oktober 1996. Penulis merupakan anak tunggal. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDS Hang Tuah VI (2002-2008), SMP Negeri 30 Jakarta (2008-2011), dan SMA Negeri 13 Jakarta (2011-2014). Penulis diterima di Departemen Teknik Lingkungan FTSLK-ITS dan terdaftar dengan NRP 3314100103. Penulis pernah menjadi Asisten Laboratorium Kimia Lingkungan 2 dan Teknik Analisis Pencemar Lingkungan (TAPL). Penulis juga aktif di organisasi kampus, yaitu sebagai staff Departemen Kewirausahaan (KWU) HMTL ITS pada tahun 2015/2016 dan menjadi Kepala Divisi *Fund Raising* Departemen Kewirausahaan (KWU) HMTL ITS pada tahun 2016/2017, selain itu penulis juga aktif di Departemen Hubungan Luar BEM FTSP ITS pada tahun 2015/2016. Penulis juga pernah aktif di beberapa kegiatan kampus dengan menjadi panitia dan pernah mengikuti beberapa pelatihan. Penulis dapat dihubungi melalui surel di mustikarhyu@gmail.com